



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Thaiza da Silva Campideli

**SENSIBILIDADE DE VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO,
VARIEDADE TAILANDESA, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS**

Diamantina

2017

Thaiza da Silva Campideli

**SENSIBILIDADE DE VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO,
VARIEDADE TAILANDESA, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Cristina Moreira Bonafé
Coorientador: Martinho de Almeida e Silva

Diamantina
2017

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

C196s	<p>Campideli, Thaiza da Silva Sensibilidade de valores genéticos de tilápias do Nilo, variedade tailandesa, aos níveis de lisina digestível das dietas / Thaiza da Silva Campideli. – Diamantina, 2017. 117 p. : il.</p> <p>Orientador: Cristina Moreira Bonafê Coorientador: Martinho de Almeida e Silva</p> <p>Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p>1. Componentes de variância. 2. Interação genótipo x ambiente. 3. Linhagem Chitralada. 4. Modelo de regressão aleatória. 5. <i>Oreochromis niloticus</i>. I. Título. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p>CDD 639.3</p>
-------	--

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

THAIZA DA SILVA CAMPIDELI

**SENSIBILIDADE DE VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO, VARIEDADE
TAILANDESA, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS**

Dissertação apresentada ao PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA -
STRICTO SENSU, nível de MESTRADO
como parte dos requisitos para obtenção do
título de MAGISTER SCIENTIAE EM
ZOOTECNIA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cristina Moreira
Bonafé

Coorientador: Prof. Dr. Martinho de Almeida e
Silva

Data da aprovação: 15/05/2017



Prof. Dr. EDUARDO MALDONADO TURRA – UFMG



Prof. Dr. MARTINHO DE ALMEIDA E SILVA – UFMG



Prof. Dr. MARCELO MATTOS PEDREIRA – UFVJM



Prof.^a Dr.^a CRISTINA MOREIRA BONAFÉ – UFVJM

*À Aldrin Vieira Pires (In memoriam),
por sempre ter acreditado em mim e me proporcionado mais do que o necessário para
chegar até aqui. Sempre foi muito presente, interessado e preocupado. Muito obrigada pela
orientação e amizade. Tenho certeza que, onde você estiver, estará bastante orgulhoso por
essa conquista.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas minhas vitórias e por permitir que tudo isso acontecesse guiando meus caminhos.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pelas oportunidades e formação, à FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudo, à CAPES e CNPQ, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa, à Ajinomoto, pela doação de aminoácidos e a UFLA e a UFMG pela concessão do material biológico.

Ao Prof. Aldrin Vieira Pires (*in memoriam*) pela orientação, por toda dedicação, pelas sábias palavras, amizade, pelos ensinamentos, paciência, competência, contribuindo muito para meu crescimento profissional.

Ao professor Martinho de Almeida e Silva, que muito admiro e tenho como exemplo de profissional, pela constante orientação, ensinamentos, confiança, amizade, apoio e sugestões na condução do experimento.

À prof. Cristina pela orientação e disponibilidade e ao prof. Turra pelas contribuições, correções e dicas na dissertação.

Ao prof. Marcelo, coordenador do laboratório de aquicultura, pela disponibilidade e participação na banca examinadora.

Ao prof. Guilherme pela colaboração no projeto e auxílio na formulação das rações experimentais e ao Dr. Lagrota (*in memoriam*) pelo auxílio nas instalações. .

À Namíbia Rizzari Leite pelo constante apoio, paciência, dedicação, grande amizade e ajuda em tudo o que foi preciso durante o mestrado.

À Luíza Rodrigues Alves Abreu, Jéssica Amaral Miranda e Lúcio Macedo Mota, pela imensa ajuda nas análises estatísticas, pela amizade, boa vontade, disponibilidade e colaboração.

Aos meus amigos e companheiros do Grupo de Estudo em Melhoramento Animal: Aroldo, Bruno Max, Carolina, Clarisse, Danielle, Diana, Diego, Francelly, Gleydson, Hellen, João Inácio, Leonardo, Lorena, Lucília, Pilar, Rafael, Rosane, Rúbia, Talita, Thalles e Thayssa, mostrando muito mais que simples companheiros de pesquisa, amigos que conquistei durante a realização deste trabalho, que jamais esquecerei. Obrigada pelo esforço e disponibilidade aos

finais de semanas e feriados para o manejo e a realização das pesagens, abates e análises, tornaram o trabalho mais divertido e produtivo.

Aos amigos do Laboratório, Prof. Milena, Marianne, Aline, André, Emilene, Estela, Maria e Matheus, pela disponibilidade, colaboração e companheirismo.

Á todos os outros amigos que disponibilizaram parte do seu tempo e ajudaram nas atividades.

Aos funcionários: Geraldo, Zezinho, Cláudio, Rogério, Paraguai e Pedro por toda a ajuda e a todos os outros que me ajudaram durante o experimento com as tilápias.

Aos professores e funcionários do DZO e aos colegas de curso, pelas contribuições, conselhos, conversas e sorrisos.

Aos meus pais Cláudia e Adauto pelo amor incondicional e incentivo ao longo dos anos.

À minha avó Maria Conceição pelas incansáveis orações e dedicação que teve comigo durante toda minha jornada, pela perseverança e amor que me fortalece todos os dias.

Às minhas irmãs Talícia e Thayane pela amizade, conselhos, e principalmente por não medir esforços em me ajudar a vencer esta etapa de minha vida.

Ao meu noivo, Fernando, pelo amor e incentivo e por pacientemente sempre me dar apoio, conselhos, força e coragem para nunca desistir dos meus sonhos.

A todos aqueles que de alguma forma ajudaram, meu eterno agradecimento!

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a sensibilidade dos valores genéticos aos níveis dietéticos de lisina digestível para características de desempenho e medidas morfométricas de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa. Vinte e nove famílias de irmãos completos foram produzidas pelo acasalamento de 21 machos e 29 fêmeas. A distribuição entre os tanques foi feita aleatoriamente, por família, após marcação dos peixes, entre 94 a 109 dias de idade, até formar um lote inicial de vinte alevinos por tanque, totalizando 700 peixes. À idade aproximada de 150 dias os peixes foram aleatoriamente redistribuídos no sistema, até formar lotes com aproximadamente 138 peixes por nível de lisina digestível na dieta. Os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível: 1,43; 1,53; 1,63; 1,73; e 1,83% nas idades entre 94 a 150 dias; e 1,28; 1,38; 1,48; 1,58 e 1,68% a partir da idade de 150 até 255 dias. As informações individuais das tilápias (peso, comprimento total, comprimento padrão, comprimento de cabeça, altura e largura) foram padronizadas para 150, 185, 220 e 255 dias de idade. A partir de então foram calculados o ganho de peso total, o ganho de peso diário, relação entre cabeça e comprimento padrão, relação entre largura e altura e a relação entre comprimento padrão e comprimento total. Para as análises foi utilizado modelo de regressão aleatória, sob modelo animal uni-característica. Foram testados modelos de ordens 2 e 3 do polinômio de Legendre para o efeito fixo e ordem 2 para os efeitos genético aditivo e de família e testados modelos com variância residual homogênea (1 classe) a heterogênea (2, 3, e 4 classes). Os modelos que proporcionaram melhor ajuste na maioria das características foram os que consideraram variância residual homogênea. De forma geral, os valores da correlação de posto foram altas. As normas de reação de 25 tilápias tailandesas amostradas aleatoriamente indicaram alteração na sensibilidade dos valores genéticos de algumas características às mudanças no nível nutricional de lisina digestível. Observou-se, portanto, que as tilápias apresentam alteração nos valores genéticos, sugerindo de maneira geral, a existência da interação genótipo x níveis de lisina digestível para características, o que pode acarretar em seleção de diferentes animais nos diferentes ambientes.

Palavras-chave: Componentes de variância. Interação genótipo x ambiente. Linhagem Chitralada. Modelo de regressão aleatória. *Oreochromis niloticus*.

ABSTRACT

This research was carried out with the aim of evaluating the sensitivity of breeding values to dietary digestible lysine level for performance traits and morphometric measurements of Nile tilapia of Thai lineage. Twenty-nine full sib families were produced by mating 21 males and 29 females. The distribution among the tanks was randomized by family, after marking the fish, between 94 and 109 days of age, until forming an initial batch of twenty fingerlings per tank, totaling 700 fish. At the approximate age of 150 days the fish were randomly redistributed into the system until they formed lots with approximately 138 fish per level of digestible lysine in the diet. Four times a day the fishes were fed diets containing different levels of lysine: 1.43; 1.53; 1.63; 1.73 and 1.83% in the growing phase; and 1.28; 1.38; 1.48; 1.58 and 1.68% in the finishing phase. The individual tilapia information (weight, total length, standard length, head length, height and width) were standardized for 150, 185, 220 and 255 days of age. From then on the weight gain, daily weight gain, head to standard length ratio, width to height ratio and the relationship between standard length and total length were calculated. . For the analyses, a random regression model was used under a single animal model. Legendre polynomial models of 2 and 3 orders were tested for the fixed effect, and of order 2 for the additive and family genetic effects. In addition, models were also tested using homogeneous residual variance (1 class) and heterogeneous variance (2, 3, and 4 classes). The models that provide better fit in most of the characteristics were those that considered homogeneous residual variance. In general, the rank correlations of breeding values of pairs of dietary digestible lysine levels were high. The reaction norms of 25 randomly sampled Thai tilapia showed change in the sensitivity of breeding values of some traits to changes in dietary digestible lysine level. Therefore, it was observed that breeding values of tilapia traits generally changed along the environment gradient, suggesting the existence of genotype x dietary digestible lysine level interaction which can lead to the selection of different fishes in different environments.

Keywords: Chitralada strain. Component of variance. Genotype x environment interaction. Random regression model. *Oreochromis niloticus*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 A tilápia na piscicultura.....	13
2.1.1 Tilápia do Nilo.....	17
2.1.2 Tilápia nilótica Chitralada	19
2.2 Aminoácido lisina.....	21
2.3 Interação genótipo x ambiente.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ARTIGO 01 - SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS DE TILÁPIAS DO NILO EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DIETÉTICOS DE LISINA DIGESTÍVEL AOS 150 DIAS DE IDADE	
RESUMO	41
ABSTRACT	43
1 INTRODUÇÃO.....	45
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1 Peixe e condições experimentais	47
2.2 Dietas experimentais.....	49
2.3 Parâmetros biológicos	51
2.4 Análise estatística	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 Estatísticas descritivas	57
3.2 Estimativas de parâmetros genéticos	59
3.3 Estudo de interações genótipo x ambiente por meio de correlações	67
3.4 Norma de reação	73
4 CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ARTIGO 02 - SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS DE TILÁPIAS TAILANDESAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DIETÉTICOS DE LISINA DIGESTÍVEL	

RESUMO	81
ABSTRACT	83
1 INTRODUÇÃO.....	85
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	87
2.1 Peixe e condições experimentais	87
2.2 Dietas experimentais.....	89
2.3 Coleta de dados.....	93
2.4 Análise estatística	93
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
3.1 Seleção do modelo e estimativas de parâmetros genéticos	97
3.2 Estudo da interação genótipo x ambiente por meio de correlações.....	105
3.3 Norma de reação.....	111
4 CONCLUSÃO.....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1 INTRODUÇÃO

A tilápia (*Oreochromis* sp.) é o segundo grupo de espécies de peixes mais cultivados no mundo, em seguida das carpas (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004; RIDHA, 2006), com potencial para se tornar o grupo de peixes mais utilizado em cultivos comerciais. São peixes com comprovada importância econômica para a aquicultura, e desse grupo a espécie *Oreochromis niloticus*, conhecida como tilápia do Nilo, é a mais comum, cultivada em vários países em razão das características zootécnicas favoráveis a criação e a carne de ótima qualidade com boa aceitação no mercado consumidor (KUBITZA, 2000; FURUYA et al., 2004c).

A algumas décadas, tem sido realizado programas de melhoramento genético em peixes, obtendo-se resultados positivos para a cadeia produtiva. Das linhagens de tilápias do Nilo, a Chitralada, também denominada tailandesa, é um dos exemplos resultantes de programas de melhoramento que proporcionaram aumento de produtividade em cultivos (RUTTEN et al., 2004).

É importante ressaltar que ao longo das gerações e devido aos processos de seleção podem ocorrer mudanças nos parâmetros genéticos da população dos peixes. Além disso, o desempenho de uma linhagem pode não ser o mesmo quando cultivadas em diferentes condições ambientais, como por exemplo, níveis nutricionais de lisina. A Lisina é um aminoácido essencial, importante principalmente para o crescimento dos peixes e sua suplementação está relacionada ao ótimo desempenho, aumento do ganho de peso e melhoria na conversão alimentar (FURUYA et al., 2006; 2013).

Mesmo que um organismo tenha a capacidade para se desenvolver geneticamente, a expressão fenotípica desejada pode não ocorrer sem condições ambientais favoráveis, portanto, a seleção de animais mais adaptados aos ambientes em que serão cultivados pode gerar economia em termos de consumo de ração e tempo de cultivo.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a sensibilidade dos valores genéticos das características de tilápias tailandesas às mudanças no nível de lisina digestível da dieta, para avaliar a interação genótipo x ambiente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A tilápia na piscicultura

A aquicultura apresenta vários sistemas de produção de peixes que cada vez mais tem se desenvolvido na atualidade. Dentre as inúmeras atividades aquícolas, a piscicultura apresenta crescimento contínuo e é reconhecida como importante atividade agroindustrial, capaz de gerar grande retorno financeiro (PINHEIRO et al., 2006). O aumento da demanda de peixes tem sido influenciado por vários fatores, podendo destacar dentre outros, o aumento da renda e da população mundial (FÜLBER et al., 2010), além dos inúmeros benefícios à saúde humana que são atribuídos à carne de peixes (ALBUQUERQUE et al., 2004), apresentando-se como alimento rico em proteínas e com baixos percentuais de gordura (PIRES et al., 2011).

Na piscicultura mundial, a carpa, a tilápia, o salmão e o bagre são os principais peixes para a produção (SEBRAE, 2015). Os ciprinídeos dominam o ranking de produção mundial nas três primeiras posições com várias espécies de carpas. Em seguida estão os Cichlidae, do grupo dos Perciformes, constituído por 70 famílias e 700 espécies espalhadas por todo o mundo sendo uma das maiores famílias criada em cativeiro na piscicultura continental (NELSON, 1994; BEYRUTH et al., 2004). Desse grupo, as tilápias, originários da África, da Jordânia e de Israel, destacam-se entre as diversas espécies cultivadas (PINHEIRO et al., 2006) sendo uma das mais importantes, consideradas como peixes exóticos de maior êxito na piscicultura mundial. “Tilápia” é um nome genérico comumente adotado para três gêneros importantes para a aquicultura – *Oreochromis*, *Sarotherodon* e *Tilapia* (POPMA e MASSER, 1999), taxonomicamente agrupados de acordo com as características reprodutivas.

O gênero *Oreochromis*, o qual as fêmeas realizam incubação oral dos ovos e possuem cuidado parental, é o mais utilizado para produção de tilápias no mundo, em virtude dos índices de adaptação e produtividade nas condições de cativeiro. Das espécies produzidas desse gênero, quatro foram as que mais se destacaram na aquicultura mundial: *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo); *Oreochromis aureus* (tilápia áurea ou azul); *Oreochromis mossambicus* (tilápia de Moçambique); e *Oreochromis urolepis hornorum* (tilápia de Zanzibar) (KUBITZA, 2000; SEBRAE, 2015). Sendo a tilápia do Nilo a espécie mais cultivada.

A primeira espécie de tilápia introduzida no Brasil foi a *Tilapia rendalli* (tilápia do Congo), no ano de 1953 para a região do estado de São Paulo (VICENTE et al., 2014), importada de Élisabeth ville (Congo Belga) com objetivo de povoamento dos reservatórios hidrelétricos e, no ano 1956 para o Nordeste. Em 1971 foram introduzidas a tilápia de Zanzibar e a tilápia do Nilo no Nordeste (LOVSHIN, 2000; BOSCOLO et al., 2001). Em 1981 foram introduzidas oficialmente no Brasil as tilápias vermelhas, cuja pigmentação avermelhada é resultante de uma mutação genética em populações da espécie *Oreochromis mossambicus*. (LOVSHIN, 2000). Outras espécies de tilápias foram importadas da África para o

repovoamento de lagos, benefícios para a pesca artesanal e segurança alimentar e, em razão do potencial para a aquicultura continental, a distribuição de tilápias vem se expandindo nas últimas décadas (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004).

A tilápia lidera a produção aquícola comercial em praticamente todo o Brasil, com grande avanço da mesma em decorrência de cultivos intensivos (CASTILLO-CAMPO, 1995) exibindo volumes mais expressivos nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul (SUSSEL, 2013).

Na atualidade, a piscicultura brasileira é representada em torno de 85% pelas tilápias e pelo grupo dos peixes redondos, sendo que as tilápias contribuem com quase 50% da produção nacional. A produtividade dessa espécie pode alcançar em torno de cinco toneladas por hectare ao ano, desempenho esse atribuído à boa adaptação que a espécie apresentou nas águas brasileiras (PEDREIRA et al., 2016).

O melhor desempenho produtivo é refletido pelo crescimento do peixe que geralmente está associado ao peso corporal e que muitas vezes se relaciona com as medidas morfométricas (comprimento do corpo, da cabeça, altura e largura) (SANTOS et al., 2007). A forma do corpo é de grande importância na escolha dos equipamentos para pesca, estocagem (caixas, prateleiras), processamento na indústria e no rendimento da carne quando pré-processada na forma de corpo limpo, postas ou filés (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994).

O corpo ou tronco limpo (sem cabeça, nadadeiras, pele e vísceras), é a parte útil do pescado, pronta para o consumo ou industrialização (SOUZA et al., 2000). O filé, representa cerca de um terço do peso total do peixe (SOUZA et al., 2000) e é a forma mais comercializada resultante da industrialização na tilapicultura (BOSCOLO et al., 2005). O rendimento do filé é o item de maior valor econômico (CYRINO e CONTE, 2004; PINHEIRO et al., 2006), portanto o aumento no seu rendimento é importante para melhorar a resposta econômica da criação.

Na literatura são encontrados rendimentos de filé de tilápia relacionados ao peso bruto do peixe variando de 22% a 42% (SOUZA et al., 2000; SOUZA e MARANHÃO, 2001; SOUZA, 2002; PIRES et al., 2011; FURUYA et al., 2013), sendo a maioria dos valores obtidos para rendimento de filé menores que 40%.

As variações no rendimento do filé de tilápias podem estar relacionadas às características da estrutura anatômica do pescado e aos métodos do processamento (SOUZA et al., 2000). Vários autores observaram que os ganhos do rendimento de filé estão associados ao peso de abate, ao peso da cabeça, às vísceras, à pele, às nadadeiras, à destreza do filetador, aos tipos de filetagem e equipamentos utilizados, ao tipo de corte da cabeça (decapitação) e à forma

de retirada da pele, escamas e nadadeiras; (SOUZA et al., 2000; SOUZA e MARANHÃO, 2001; SOUZA, 2002; PINHEIRO et al., 2006; PIRES et al., 2011).

Além da carne, a pele é um produto comercial bastante valorizado (SOUZA e MARANHÃO, 2001; PEDREIRA et al., 2016), sobretudo no exterior. Os demais subprodutos da produção de filé de tilápias como carcaça, vísceras, nadadeiras e escamas representam material rico em proteína e outros nutrientes que podem ser aproveitados de forma racional visando ao aumento na lucratividade, à rentabilidade do negócio e à redução do impacto ambiental (BOSCOLO et al., 2005; PEDREIRA et al., 2016). Esse material pode ser utilizado como adubo para plantações ou entrar na composição de dietas de peixes (BOSCOLO et al., 2005) e para outros diferentes tipos de animais, além de ser aproveitado na fabricação de outros produtos.

2.1.1 Tilápia do Nilo

A *Oreochromis niloticus* tem sido uma das espécies com maior importância mundial, por apresentar muitas características favoráveis à piscicultura, sendo a principal espécie selecionada (CASTAGNOLLI, 1992) dentro do modelo zootécnico de criação de pescados. Do ponto de vista da produção em cativeiro, a tilápia do Nilo é a que mais se desenvolveu, ocupando a 4ª posição de espécie mais cultivada no mundo e a primeira no Brasil (SEBRAE, 2015).

A tilápia do Nilo destaca-se com grande potencial para a aquicultura por vários fatores (BOSCOLO et al., 2001). Tais como: resistência a diferentes sistemas de manejo e adaptabilidade a variados sistemas de produção, com grande desempenho em sistemas intensivos de produção (FURLANETO et al., 2006); tolerância a condições ambientais adversas, resistentes a doenças, alta densidade, tolerância a baixos teores de oxigênio dissolvido, pH entre 5,0 a 11,0, altos níveis de amônia não ionizada e a variações de temperaturas (POPMA e PHELPS, 1998; FÜLBER et al., 2010; PEDREIRA et al., 2016); possui alta prolificidade, excelente capacidade de reprodução, apresenta maturidade sexual entre o 3º e o 4º mês e facilidade de obtenção de larvas (FURUYA et al., 2004c) podendo produzir alevinos durante todo o ano; apresenta baixo nível trófico (BOSCOLO et al., 2001; 2005), com hábito alimentar onívoro (FURUYA et al., 2004c) aceita grande variedade de alimentos, responde com a mesma eficiência à ingestão de proteínas de origem vegetal e animal e aceita dietas artificiais logo após o início da alimentação exógena (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004; DE SOUZA et al., 2009); bom desempenho produtivo e rápido crescimento (FURUYA et al., 2004c), alcançando de 500 a 800 gramas entre 4 e 6 meses de cultivo; além de ser possível criá-la em policultivo, com por exemplo camarão (DE SOUZA et al., 2009).

Além dessas características zootécnicas favoráveis à produção, soma-se à tilápia do Nilo uma carne com ótimas características organolépticas e excelente qualidade (FURUYA et al., 2004c; PEDREIRA et al., 2016), que alcança os padrões de aceitação exigidos pelo mercado consumidor. Essas características associadas ao fato da espécie não apresentar espinhos em forma de “Y” na musculatura, facilita a industrialização (SOUZA, 2002; FURUYA et al., 2004c; VIEIRA et al., 2005), a grande aceitação do mercado consumidor e a comercialização da tilápia no mercado nacional e internacional tanto para filés ou mesmo o peixe inteiro sem

vísceras (SUSSEL, 2013) e, deixa a tilápia do Nilo com suas diferentes linhagens no pódio das principais espécies cultivadas comercialmente (SOUZA, 2002).

Com a intensificação da criação, houve procura de linhagens de tilápia nilótica com melhor desempenho produtivo (PIRES et al., 2011), que principalmente apresentaram crescimento mais rápido e maior rendimento de filé.

No território brasileiro encontra-se diferentes linhagens de tilápias da espécie *Oreochromis niloticus*, sendo algumas formadas pelo isolamento geográfico, sob condições adversas e cruzamentos que ocasionaram o distanciamento genético e a formação de distintas linhagens de tilápias do Nilo. Dentre essas linhagens de tilápia introduzidas no Brasil, destacam-se como as principais linhagens comerciais Bouaké (considerada comum), GIFT, Supreme e Chitralada (MASSAGO et al., 2010).

A primeira linhagem de tilápia do Nilo importada oficialmente para o Brasil foi a Bouaké, em 1971, na cidade de Pentecostes no Estado do Ceará, com exemplares provenientes da Estação de Piscicultura de Bouaké, Costa do Marfim, na região oeste da África, introduzida por técnicos do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), com intuito de melhorar a produção por área (CASTAGNOLLI, 1992; BEYRUTH et al., 2004; MASSAGO et al., 2010). Em 1996 foi importada a população melhorada da linhagem Chitralada da Tailândia. Em 2002 chegou ao Brasil a linhagem denominada “GST” (GenoMar Supreme Tilápia), por intermédio da Piscicultura Aquabel, vinda de uma empresa Norueguesa, denominada GenoMar (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004; MASSAGO, et al., 2010). No mesmo ano foi introduzida a FishGen (Genetically Male Tilápias – GMT). A linhagem GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia), proveniente da Malásia, foi introduzida em 2005 por meio de um convênio entre a Universidade Estadual de Maringá, no Paraná, e o World Fish Center, com o objetivo de continuar o programa de melhoramento genético dessas famílias nas condições de cultivo brasileiras (MASSAGO et al., 2010).

Os trabalhos realizados nos últimos anos com linhagens de tilápia do Nilo evidenciam diferenças relacionadas ao desempenho produtivo dessas linhagens (WAGNER et al., 2004; VIEIRA et al., 2005; RIDHA, 2006; SANTOS et al., 2007; MARENGONI et al., 2008; NEUMANN et al., 2009; FÜLBER et al., 2010; MAINARDES PINTO et al., 2011; PEDREIRA et al., 2016).

2.1.2 Tilápia nilótica Chitralada

A ampliação das formas de consumo e de comercialização levaram à necessidade de se desenvolverem linhagens que apresentem melhor desempenho produtivo, como é o caso da linhagem Chitralada (PIRES et al., 2011) que é amplamente disseminada nos países tropicais.

A linhagem nilótica Chitralada é resultante de intenso processo de seleção desde a década de 1940 quando o Imperador Hiroito do Japão foi presenteado com uma grande população de peixes de uma linhagem pura de tilápias do Nilo trazidas de Alexandria, Egito e manteve esta linhagem de peixes em seu Palácio Imperial tendo o cuidado, com os melhores técnicos das Universidades Japonesas, de acompanhar a seleção e melhoramento desta população (ZIMMERMANN, 1999). Ainda segundo este autor, a linhagem pura de tilápia do Nilo introduzida na Tailândia foi doada pelo Imperador Hiroito nos finais dos anos 1960 e tornou-se uma das espécies de peixes cultivadas mais importantes.

Denominada como Chitralada ou Tailandesa a linhagem melhorada geneticamente, possui características que a tornou uma das linhagens mais cultivada da tilápicultura na atualidade.

No Brasil, programas de melhoramento genético vêm sendo realizados, objetivando obter linhagens de peixes com alto potencial genético e produtivo. A tilápia tailandesa foi introduzida oficialmente no estado do Paraná no ano de 1996, importadas do Agricultura Land Aquatic Systems, do Asian Institute of Technology (AIT), na Tailândia (ZIMMERMANN, 1999), 20.800 matrizes (LOVSHIN, 2000; BOSCOLO et al., 2001; MASSAGO et al., 2010), oriundas de 1.000 diferentes eventos reprodutivos de 20 famílias de tilápia do Nilo linhagem tailandesa, sendo selecionada nesta população características como ganho de peso, conformação corporal e docilidade (KUBITZA, 2003). As tailandesas são peixes mais dóceis em consequência da seleção ao longo de gerações de animais menos arredios, com a coleta direta de ovos na boca das fêmeas para incubação artificial. Segundo Kubitza (2000), linhagens em que não se aplicou essa estratégia os peixes são menos dóceis e apresentam maior dificuldade para serem manejados.

Um programa de melhoramento genético de tilápias teve início, em 1988, na Malásia, por pesquisadores do Worldfish Center, utilizando a *Oreochromis niloticus* (FÜLBER et al., 2009), sendo realizado até hoje. Os resultados obtidos com programas de melhoramento genético bem conduzidos em tilápias do Nilo são benéficos do ponto de vista econômico

(PONZONI et al., 2007), podendo ser alcançado aumento de mais de 10% no ganho genético em programas de seleção (PONZONI et al., 2005; PONZONI et al., 2008; PONZONI et al., 2011). Em 1998 teve início o programa de melhoramento genético que hoje é implementado na AQUAMALTA, com a seleção e manutenção de três bancos de avós da linhagem Chitralada, que produzem os pais da geração comercial.

É importante ressaltar que o desempenho de uma linhagem melhorada geneticamente pode não ser o mesmo em todas as regiões do país devido as diferenças nas condições ambientais como manejo, sistema de criação, nutrição entre outros. Além disso, com a seleção ao longo das gerações pode surgir heterogeneidade de variâncias e covariâncias e causar alteração nas frequências gênicas e, conseqüentemente, alterar os parâmetros genéticos da população, acarretando em padrões de crescimento diferenciados. Portanto, em programas de seleção, os testes de desempenho da população da linhagem utilizada são necessários para a avaliação da produtividade (PONZONI, et al., 2005).

O foco dos programas de seleção tem sido quase exclusivamente restrito à taxa de crescimento (PONZONI, et al., 2005). Pesquisadores e criadores estão constantemente buscando alternativas para melhorar as condições ambientais para maior desempenho e produtividade na tilapicultura. Neste contexto, Tachibana et al. (2004) obtiveram desempenho satisfatório para a linhagem de tilápia tailandesa sendo uma das mais propícias para a criação em sistema de recirculação; Pinheiro et al. (2006) trabalharam com adultos de tilápia tailandesa avaliando o rendimento de filetagem e os valores percentuais das partes dos peixes; Paiva et al. (2008) avaliaram o desempenho produtivo da tilápia tailandesa em tanques-rede; Moraes et al. (2009) estudaram o desempenho zootécnico de alevinos de tilápia Chitralada com diferentes rações comerciais; Moura et al. (2009) avaliaram a atividade de tripsina no quimo de tilápias tailandesas submetidas a quatro temperaturas da água.

Alguns testes relacionados com linhagem selecionada e melhorada tailandesa foram realizados avaliando o desempenho dessa linhagem em relação a outras linhagens de tilápias, ressaltando o seu desempenho produtivo. Macaranas et al. (1997) desenvolveram pesquisa com as tilápias israelenses, tailandesa, Mossambica e híbrido de tilápia vermelha e obtiveram diferenças entre as linhagens sendo a linhagem tailandesa a que apresentou melhor taxa de crescimento e conversão alimentar, além de maior ganho de peso refletindo a relação genótipo x ambiente. O melhor desempenho da linhagem Chitralada em relação à Bouaké, obtido por Wagner et al. (2004) é semelhante aos observados por Leonhardt et al. (2006), que também relataram melhor desempenho da linhagem Chitralada. Da mesma forma, Mainardes Pinto et al. (2011), ao avaliarem a produtividade de juvenis das tilápias tailandesa e vermelha da Flórida,

submetidas a diferentes densidades de estocagem observaram maiores comprimento corporal, peso e valores do fator de condição relativo nas tilápias tailandesas.

Boscolo et al. (2001) observaram que os animais da linhagem tailandesa apresentaram melhores resultados e concluíram que na fase de crescimento, apresentaram cabeça maior e cauda menor em relação à linhagem comum e, a linhagem comum, maior rendimento de tronco, porém o rendimento de filé foi semelhante nas duas linhagens. Marengoni et al. (2008) não observaram diferenças significativas entre a GIFT, Bouaké e Chitralada para peso médio final, ganho de peso diário, conversão alimentar e biomassa final. O mesmo foi observado por Fülber et al. (2009) que ao estudarem as linhagens Bouaké, Chitralada e GIFT, em função da densidade de estocagem, não encontraram desempenho superior em nenhuma das linhagens estudadas. O que corrobora os resultados de Oda (2015), que não registrou diferença significativa no peso total, comprimento total, sobrevivência, conversão alimentar e rendimento de filé, entre as linhagens de tilápias GIFT e tailandesa, à semelhança dos resultados de desempenho produtivo obtidos por Pedreira et al. (2016).

Por outro lado, Marengoni et al. (2008) concluíram que a linhagem GIFT apresentou melhor sobrevivência, porém o resultado para a linhagem Chitralada não apresentou diferença estatística. Em condições de cultivo com variação de temperatura não controlada, Neumann et al. (2009) observaram que a linhagem de tilápia do Nilo comum é a que apresenta melhor desempenho produtivo e a linhagem de tilápia híbrida (vermelha) tem desempenho produtivo inferior e a linhagem tailandesa (desempenho intermediário). Massago et al. (2010) concluíram que as linhagens Supreme e GIFT apresentaram melhor desempenho, apesar de ressaltarem que a linhagem Chitralada também mostrou bons resultados. Silva et al. (2016), ao compararem larvas de GIFT e Chitralada, observaram que o comprimento total e biomassa foram maiores para a linhagem GIFT avaliada no 36º dia, entretanto, nenhuma diferença entre as linhagens foi observada no 12º e 24º dia.

Pelo exposto, devem se consideradas as significativas diferenças de desempenho entre as diversas linhagens e novos estudos são necessários para avaliar o desempenho inter e intra-linhagens de *O. niloticus* cultivadas no Brasil (BOSCOLO et al., 2001) em diversas condições de manejo e cultivo (NEUMANN et al., 2009).

2.2 Aminoácido lisina

Os aminoácidos são unidades formadoras das proteínas e de fundamental importância no crescimento dos animais (KUBITZA, 1999). Entretanto, os peixes não sintetizam todos os aminoácidos e precisam adquiri-los de fontes externas (NRC, 2011).

Para atender as exigências nutricionais, pode-se formular uma dieta com as quantidades recomendadas de cada aminoácido, conforme a combinação de vários ingredientes (SANTOS, 2007). Em função dos ingredientes comumente usados em rações para peixes, a adição de aminoácidos essenciais se faz necessária para suprir as exigências de alguns aminoácidos limitantes.

Dietas que apresentam deficiência em proteínas ou em aminoácidos podem resultar em atraso no crescimento, piora na conversão alimentar, redução no apetite (KUBITZA, 1999), dentre outros efeitos negativos para os peixes. O conceito de proteína ideal sugere o balanço exato de aminoácidos que é capaz de prover, sem excesso ou falta, os requerimentos de todos os aminoácidos necessários para a manutenção e produção animal, minimizando a excreção de nitrogênio (FURUYA et al., 2004a; GONÇALVES et al., 2009).

Esse conceito tem sido aplicado na elaboração de dietas para peixes (FURUYA et al., 2004a; 2005; PERES e OLIVA-TELES, 2008; BOMFIM et al., 2010) e, geralmente, cada aminoácido essencial é expresso em relação a um aminoácido-referência (FURUYA et al., 2005; GONÇALVES et al., 2009), normalmente o mais limitante nas dietas.

Em geral, o aminoácido lisina, também conhecido por ácido 2,6 diamino-hexanóico, apresenta-se como mais limitante em dietas (CAO et al., 2012; RAMPE et al., 2014), principalmente em fontes vegetais (WU, 2013), como trigo e milho (PIRES et al., 2006) e, geralmente é o primeiro ou segundo aminoácido limitante em dietas para peixes (FURUYA et al., 2006). Logo, esse aminoácido é utilizado como referência no conceito de proteína ideal (FURUYA et al., 2004b; FURUYA et al., 2005; FURUYA et al., 2006; GONÇALVES et al., 2009).

Segundo Furuya et al. (2005), a lisina é utilizada como referência por ser economicamente encontrada na forma sintética, pelo número de informações sobre suas exigências, pelo baixo custo, pela rapidez de sua análise e por ser utilizada exclusivamente para a síntese de proteína corporal.

A lisina é um aminoácido polar básico, codificado pelos códons AAA e AAG e é altamente solúvel em água, isolada pela primeira vez por Ferdinand Heinrich Edmund Drechsel em 1889 a partir da caseína (WU, 2013). A estrutura da L- lisina foi determinada em 1891 por F. Drechsel e o termo "lisina" foi criado por Ernst Fischer, pois liberava ureia após a hidrólise

alcalina em meio de hidróxido de bário (WU, 2013). Furuya et al. (2004a) demonstram que a tilápia do Nilo utiliza aminoácido sintético de forma eficiente.

Dentre os aminoácidos essenciais, lisina, metionina e treonina, são aminoácidos importantes para o crescimento dos peixes, particularmente no desenvolvimento das fibras musculares e principalmente durante o período de crescimento hipertrófico, objetivando o aumento na produção de filés (RIGHETTI et al., 2011). Juntamente com a metionina, a lisina atua como precursor na síntese de carnitina (FURUYA et al., 2013), um dos compostos responsáveis pela oxidação lipídica. A carnitina estimula o catabolismo dos lipídeos para obtenção de energia (OZÓRIO et al., 2001) para o funcionamento dos músculos. Além disso, é precursor da hidroxilisina que atua na síntese de colágeno, proteína fibrosa encontrada nos tecidos conectivos, cartilagens e matriz orgânica dos ossos dos animais (NELSON e COX, 2014).

Estudos revelam que a lisina pode estar envolvida em vários processos fisiológicos e sua suplementação está relacionada com o aumento no ganho de peso, melhoria na conversão alimentar, aumento na retenção de nitrogênio na melhor conversão alimentar, na redução do conteúdo de lipídios na carcaça e no maior rendimento de filé (BERGE et al., 1998; FURUYA et al., 2006; 2013). Aguiar et al. (2005) destacaram que o adequado nível de lisina na dieta é importante para o crescimento das fibras brancas de larvas de tilápia do Nilo. Furuya et al. (2006) observaram que a elevação nos níveis de lisina digestível das dietas de tilápias do Nilo resultou em aumento significativo do rendimento de carcaça e na composição da proteína bruta corporal. Bomfim et al. (2010) cita a lisina como aminoácido indispensável sendo encontrado em maior concentração na carcaça de peixes.

Neste contexto, determinar a exigência de lisina torna-se importante para permitir a elaboração de dietas com adequado balanceamento de aminoácidos, para possibilitar o máximo desempenho das tilápias. Geralmente, as exigências de aminoácidos são expressas com base na matéria seca da dieta ou em porcentagem de proteína da dieta (NRC, 1993; FURUYA et al., 2004b; 2006; GONÇALVES et al., 2009; NRC, 2011).

Vários estudos foram conduzidos para determinar as exigências de aminoácidos. Santiago e Lovell (1988) estimaram em seus estudos exigência de lisina de 5,12% da proteína dietética para juvenis de tilápia do Nilo. Segundo o NRC (1993), para espécies herbívoras e onívoras o teor de lisina na dieta deve ser próximo de 1,43%, ou de 5,12% da proteína da dieta. Segundo Kubitz (1999), as exigências desses aminoácidos em rações nutricionalmente completas para tilápia do Nilo com proteína bruta de 24 a 48% são de 1,28 a 2,46% de lisina

(5,12% da proteína da dieta). Furuya et al. (2004b) obtiveram resultados que mostram que a tilápia do Nilo, apresentou exigência de 1,42% (5,7% da proteína ou 4,8mg de lisina/kcal de energia digestível na dieta) de lisina, para melhor desempenho. Furuya et al. (2006) indicaram que a tilápia do Nilo na fase inicial (5 a 30 g de peso vivo) apresenta exigência de 1,44% de lisina digestível (1,55% de lisina total), correspondente a 5,23% da proteína digestível da dieta, para melhor desempenho, rendimento e composição química da carcaça. Bonfim et al. (2008), em estudo sobre o desempenho com alevinos de tilápia do Nilo, utilizaram o nível de 1,50% de lisina digestível nas dietas. Segundo Gonçalves et al. (2009) quando utilizado o nível proteico de 30,0% de proteína digestível, a melhor relação é de 7,5% de lisina digestível: proteína digestível.

Takishita et al. (2009) ao avaliarem os níveis de lisina digestível em dietas para alevinos de tilápia do Nilo, linhagem tailandesa, com peso inicial de $0,98 \pm 0,03$ g concluíram que as exigências de lisina digestível e total são 2,17 e 2,32. Segundo Bomfim et al. (2010), o nível de 1,80% de lisina total e o de 1,70% de lisina digestível proporcionam melhores resultados de desempenho e características de carcaça de alevinos de tilápia do Nilo quando se utiliza o conceito de proteína ideal na formulação das dietas experimentais. O NRC (2011) recomenda valores de 1,6% de lisina e 5,3% da proteína da dieta.

Furuya et al (2013), com o objetivo de determinar a exigência de lisina digestível em dietas para tilápia do Nilo de 87 a 226g, concluíram que as tilápias exigem 1,31% de lisina digestível na dieta. Rampe et al. (2014) recomendam 1,84% de lisina digestível em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

Pode-se observar, de acordo com os diversos trabalhos que a suplementação de lisina é importante. Entretanto, observa-se por meio da análise de dados divulgados na literatura, que as recomendações nutricionais de lisina para tilápia do Nilo apresentam grandes variações, pois os requerimentos desses aminoácidos podem variar com a formulação da dieta, idade, tamanho do peixe, genética, manejo alimentar e sistema de cultivo.

2.3 Interação genótipo x ambiente

As características dos animais são influenciadas pela genética, pelo ambiente e também pela interação entre o genótipo e o ambiente. O ambiente pode ser considerado como um complexo de fatores físicos, químicos e biológicos (KING et al., 2006) e também definido como um conjunto de elementos que podem exercer influência sobre a expressão das características dos animais. Toda variação não genética é considerada variação de causa ambiental para o melhoramento animal (CARDOSO, 2009).

Pesquisas têm sido conduzidas para avaliar genótipos em diferentes condições ambientais, favoráveis e desfavoráveis, naturais ou artificiais. A interação entre o genótipo e o ambiente (IGA) ocorre quando existem diferentes sensibilidades do genótipo a mudanças ambientais, ou seja, ocorre quando os mesmos genótipos apresentam diferenças fenotípicas entre ambientes distintos (FERREIRA et al., 2001). A mudança no desempenho relativo de genótipos em diferentes condições ambientais pode envolver mudanças na ordem da classificação dos valores genéticos preditos ou na escala de classificação dos animais e mudanças na magnitude absoluta ou relativa das variâncias genética de ambiente e fenotípica dos animais (FALCONER e MACKAY, 1996; FERREIRA et al., 2001).

Neste contexto, o animal selecionado como melhor em um ambiente pode não ter o melhor desempenho quando expostos a outros ambientes (CRUZ e REGAZZI, 1994). Além disso, a presença de IGA pode dificultar a compreensão dos efeitos principais do genótipo e do ambiente assim como em prever o desempenho dos genótipos nos diferentes ambiente de criação e práticas de manejo. Portanto, a avaliação da interação genótipo x ambiente pode ser de grande importância para melhoramento animal (CARDOSO, 2009; FRIDRICH et al., 2008).

Quando a IGA assume papel importante na expressão fenotípica, alguns dos genes que controlam as características em um ambiente são diferentes daqueles que controlam as mesmas características em outros ambientes (FALCONER, 1987). Da mesma forma, um parâmetro medido em dois ambientes diferentes pode ser considerado como dois parâmetros distintos (FALCONER e MACKAY, 1996).

Logo, a seleção deverá ser realizada mais em função do ambiente do que basicamente pela genética do animal. O ambiente no qual a seleção será praticada é um importante fator a ser considerado na produção econômica dos animais domésticos, pois além de influenciar o ganho na seleção pode dificultar a recomendação de linhagens em regiões com uma grande extensão geográfica (CARDOSO, 2009).

A grande extensão territorial do Brasil é uma característica que pode favorecer a ocorrência de IGA, sendo que o clima, o sistema de produção, o manejo e a alimentação dos animais podem variar muito de cultivo para cultivo. As produções de tilápias do Nilo nos estados brasileiros em diferentes condições ambientais indicam a necessidade de pesquisas e potencialmente o desenvolvimento de espécies e linhagens específicas para as diferentes regiões (RESENDE et al. 2010). A definição da melhor linhagem, de acordo com as características do cultivo, passa a desempenhar um papel importante nos sistemas de produção.

Linhagens mais adaptadas ao ambiente de produção podem gerar economia em termos de consumo de ração, mão de obra e tempo de cultivo. A quantificação da interação dos genótipos em relação ao ambiente é necessária para estabelecer o melhor ambiente de seleção para os sistemas de produção (PONZONI et al., 2008). Para estimar os efeitos da IGA é necessário estudar o mesmo indivíduo ou indivíduos geneticamente relacionados em dois ou mais ambientes, baseados nas diferenças do comportamento do genótipo quando comparado aos ambientes de criação (CARDOSO, 2009). Estudos têm sido conduzidos para investigar a existência de IGA permitindo a orientação e seleção de genótipos superiores para condições ambientais específicas.

Considerando o melhor desempenho produtivo de espécies de peixes, vários autores têm realizado trabalhos para estudar a existência da IGA: Macaranas et al. (1997), ao avaliarem o desempenho reprodutivo, sobrevivência e crescimento de quatro linhagens de tilápia em Fiji, observaram significativas interações genótipo x ambiente; Charo-Karisa et al. (2006) evidenciaram a interação genótipo x ambiente entre peso corporal de alevinos de tilápia ; Ponzoni, et al. (2008) examinaram os efeitos da interação genótipo x ambiente em programa de melhoramento genético de carpa comum; Oliveira et al. (2013) também estudaram *O. niloticus* GIFT observando o peso vivo entre duas regiões no Estado do Paraná. Santos et al. (2014) compararam grupos genéticos GIFT e Tilápia vermelha em diferentes níveis de proteína na dieta; Omasaki et al. (2016) estimaram parâmetros genéticos para características de desempenho e medida corporal entre as populações de sexo misto e mono sexo.

A interação genótipo-ambiente, quando não é devidamente detectada, pode implicar em predição viesada dos valores genéticos, e conseqüentemente na redução do progresso genético (CARDOSO, 2009). Os efeitos da IGA podem ser reduzidos através da escolha de um ambiente de seleção mais próximo possível ou idêntico ao de produção (PONZONI et al., 2008).

Os principais parâmetros estudados no estudo da IGA são variâncias e covariâncias (genética aditiva, residual, fenotípica), correlações correspondentes e herdabilidades. Segundo

Miranda (2015), uma forma primária de observação da interação genótipo x ambiente pode ser a heterogeneidade de variância, que pode comprometer o resultado do processo de seleção caso fatores ambientais sejam a fonte dessa heterogeneidade.

Uma das possibilidades de estudo da IGA pode ser pela magnitude da correlação genética entre as expressões das características em diferentes ambientes correlacionados (FALCONER, 1952; FALCONER e MAKAY, 1996; KHAW et al., 2012). De acordo com esses autores se os valores de correlação genética forem elevados, o desempenho nos dois ambientes é determinado praticamente pelo mesmo conjunto de genes. A não existência de IGA é observada quando as correlações são muito próximas ou iguais a 1,0 (FALCONER e MACKAY, 1996). Por outro lado, quando a correlação é baixa, o desempenho em cada ambiente é determinado por um grupo diferente de genes, o que pode caracterizar a existência da IGA.

A IGA não é considerada biologicamente importante quando as correlações genéticas entre as características em ambientes distintos forem superiores a 0,80 (ROBERTSON, 1959), pois correlações genéticas acima desse valor indicam que a IGA não são causas de importância genética. As correlações genéticas estimadas para características em peixes variam entre os estudos e dependem muito do grau de diferenças entre os ambientes testados: Ao estimarem as correlações genéticas e fenotípicas para compor uma população de tilápia do Nilo selecionadas para reprodução, Eknath et al. (2007) em sete diferentes ambientes, constituindo diferentes regiões agroclimáticas e sistemas de produção constataram elevadas correlações genéticas ($>0,8$) em ambientes de cultivo semelhantes. Altos valores de correlação entre características em tilápias também foram encontrados por Khaw et al. (2012), Yoshida et al. (2013) e Turra et al. (2012; 2016). Macaranas et al. (1997) estimaram valores baixos de correlação genética em *O. niloticus*, o que indica a interação genótipo x ambiente. Assim como, Charo-Karisa et al. (2006), que identificaram baixos valores de correlação genética entre peso corporal de alevinos e evidenciaram a interação genótipo x ambiente.

Apesar de vários estudos sobre IGA em espécies de peixes, ainda é difícil traçar uma linha geral sobre a magnitude da IGA, que deve determinar quando decidir se há necessidade de realizar programas separados de melhoramento para cada ambiente ou um único programa de melhoramento para todos os ambientes (KHAW et al., 2012).

A função de covariância é outra possibilidade para se estudar a IGA com eficiência, pois utiliza a regressão aleatória linear, em que é descrita a mudança gradual e contínua de cada genótipo, em função do gradiente ambiental (AMBROSINI et al., 2016). Geralmente, em

modelos de regressão aleatória, para estimar funções de covariância em estudos de crescimento têm sido utilizados os polinômios, sendo os polinômios de Legendre os mais utilizados, uma vez que são ortogonais, ao contrário dos polinômios naturais e mais fáceis de serem calculados (SCHAEFFER e JAMROZIK, 2008).

A utilização de coeficientes de regressão provenientes do ajuste dos polinômios de Legendre é útil para analisar os padrões de variação genética em características de crescimento (KIRKPATRICK e HECKMAN, 1990). Para a estimação dos componentes de covariância são aplicados modelos hierárquicos, de normas de reação com variâncias residuais homogêneas e heterogêneas, e coeficientes de regressão lineares aleatórios. Um modelo de regressão aleatória e norma de reação correspondem a uma função de covariância ao modelar uma característica longitudinal, pois ambos os modelos ajustam uma estrutura de covariância para medidas repetidas (VAN DER WERF et al., 1998) ou medidas ao longo do gradiente ambiental.

No estudo da IGA não existe regra geral sobre o método usado, várias metodologias são propostas para este intuito, o que possibilita desdobrar a variação do fenótipo em seus vários componentes genéticos, ambientais e de interação genótipo x ambiente. Dentre essas metodologias para o estudo da IGA, Fridrich (2003) cita algumas formas alternativas como experimentos com gêmeos idênticos, diferença significativa no valor estimado de herdabilidade da mesma característica em dois ambientes diferentes, comparação do desempenho das progênes de reprodutores entre ambientes pelas técnicas de análise de variância das características, resposta correlacionada, normas de reação e análises de regressão.

As normas de reação (NR) têm sido amplamente aplicadas para verificar a presença de IGA para várias características de importância econômica em várias espécies animais. A relação definida como normas de reação é quando um organismo produz uma resposta fenotípica que varia como função contínua em relação ao ambiente ao qual está exposto (WOLTERECK *apud* CARDOSO et al., 2011).

Assim, a NR pode ser entendida como a capacidade de um genótipo de produzir diferentes fenótipos em resposta a diferentes condições ambientais. Tendo como vantagem que a resposta da seleção pode ser predita não somente na expressão fenotípica em todo o ambiente, mas também na sensibilidade da característica às mudanças no ambiente (DE JONG e BIJMA, 2002). Em um modelo de normas de reação, a sensibilidade ao ambiente é definida como a primeira derivada da função, isto é, o coeficiente de regressão linear da norma de reação (DE JONG, 1995).

Por meio da regressão aleatória no modelo de NR são atribuídos a cada animal dois coeficientes de regressão (intercepto e linear), que por sua vez predizem o valor genético em

função do ambiente (RODRIGUES, 2012). Modelos de regressão aleatória tem sido utilizado em estudos em peixes (MCKAY et al., 2002; RUTTEN et al., 2005; TURRA et al., 2012), onde as regressões aleatórias descrevem os desvios genéticos a partir de regressões fixas e permitem que cada animal tenha uma descrição diferente da trajetória de seus desempenhos em termos genéticos (MERCADANTE et al., 2002). Isto possibilita o estudo de trajetória genética do crescimento dos animais e pode ser utilizado para avaliação da sensibilidade dos valores genéticos às mudanças no nível nutricional da dieta, estabelecendo-se, portanto, a importância da interação genótipo x ambiente (MIRANDA, 2015).

As variâncias genéticas aditivas e residuais nos modelos NR podem se alterar ao longo do gradiente ambiental de acordo com a ordem das funções de covariância e o número de classes de variância residual considerados no modelo ajustado. Vários autores consideram a NR um modelo ideal para expressar e entender as respostas diferenciadas dos genótipos às variações das condições dos ambientes de produção (TORAL et al., 2004; CARDOSO et al., 2011; BONAFÉ et al., 2011; FREITAS, 2012; RODRIGUES et al., 2012; MOTA et al., 2015; RIBEIRO et al., 2015; VELOSO et al., 2015; AMBROSINI et al., 2016; MIRANDA et al., 2016; FARIA et al., 2017). Esses autores utilizaram este tipo de metodologia para estudarem a IGA, bem como o uso da regressão aleatória e das funções de covariância como modelos para estimação de parâmetros de covariância.

De tal modo, com o uso do modelo de NR por meio da regressão aleatória é possível identificar os genótipos de melhor desempenho em cada ambiente e generalizar esse desempenho para número infinito de ambientes. Além de remover o limite de número de registros e permitir considerar a heterogeneidade de variâncias (MEYER *apud* CORRÊA et al., 2009), o que possibilita que o efeito da IGA possa ser sistematicamente avaliado e permitir entender a norma de reação dos animais para variações gradativas no ambiente de produção, pela regressão do desempenho dos genótipos no valor médio do desempenho observado em cada ambiente (FALCONER e MACKAY, 1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. H.; BARROS, M. M.; PADOVANI, C. R.; PEZZATO, L. E.; PAI-SILVA, D. Growth characteristics of skeletal muscle tissue in *Oreochromis niloticus* larvae fed on a lysine supplemented diet. **Journal of Fish Biology**, v. 67, n. 5, p. 1287-1298, 2005.

ALBUQUERQUE, W. F.; ZAPATA, J. F. F.; ALMEIDA, R. S. Estado de frescor, textura e composição muscular da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) abatida com dióxido de

carbono e armazenada em gelo. **Revista Ciência Agronômica**, v.35, n. especial, p.264- 271, 2004.

AMBROSINI, D. P.; MALHADO, C. H. M.; MARTINS FILHO, R.; CARNEIRO, P. L. S. Interação genótipo x ambiente via modelos de normas de reação para características de crescimento em bovinos Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.2, p.177-186. 2016.

BERGE G.E.; SVEIER, H.; LIED, E. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*); the requirement and metabolic effect of lysine. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 120, n. 3, p. 477-485, 1998.

BEYRUTH, Z.; MAINARDES-PINTO, C. S. R.; FUSCO, S. M.; FARIA, F. C.; SILVA, A. L. Utilização de alimentos naturais por *Oreochromis niloticus* em tanques de terra com arraçoamento. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 30, n. 1, p. 9-24, 2004.

BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; RIBEIRO, F. B.; QUADROS, M. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 10, p. 1713-1720, 2008.

BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; DONZELE, J. L.; QUADROS, M.; RIBEIRO, F. B.; SOUSA, M. P. Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 1-8, 2010.

BONAFÉ, C. M.; TORRES, R. D.; TEIXEIRA, R. B.; SILVA, F. D.; SOUSA, M. F.; LEITE, C. D. S.; SILVA L. P.; CAETANO, G. D. C. Heterogeneidade de variância residual em modelos de regressão aleatória na descrição do crescimento de codornas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n. 10, p.2129-2134, 2011.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F.; FEIDEN, A.; BOMBARDELLI, R. A.; REIDEL, A. Farinha de resíduos de filetagem de tilápias na alimentação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.1807-1812, 2005.

BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; SOARES, C.M.; FURUYA, W.M.; MEURER, F. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens Tailandesa e Comum, nas fases inicial e de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.5, p.1391-1396, 2001.

CAO, J.; CHEN, Y.; ZHU, X.; HUANG, Y.; ZHAO, H.; LI, G.; LAN, H.; CHEN, B.; PAN, Q. A study on dietary L-lysine requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. **Aquaculture Nutrition**, v.18, p.35-45. 2012.

CARDOSO, L. L., BRACCINI NETO, J., CARDOSO, F. F., COBUCCI, J. A., BIASUS, I. D. O., & BARCELLOS, J. O. J. Hierarchical Bayesian models for genotype × environment estimates in post-weaning gain of Hereford bovine via reaction norms. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 294-300, 2011.

CARDOSO, L. L. **Modelos de normas de reação para estudo da interação genótipo x ambiente**. 2009, 68 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CASTAGNOLLI, N. **Criação de peixes de água doce**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 189 p.

CASTILLO-CAMPO, L. F. **História genética e hibridação da tilapia roja**. San Tander: Ideal, 1995. 236p.

CHARO-KARISA, H.; KOMEN, H.; REYNOLDS, S.; REZK, M. A.; PONZONI, R. W.; BOVENHUIS, H. Genetic and environmental factors affecting growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles: Modelling spatial correlations between hapas. **Aquaculture**, v. 255, n. 1, p. 586-596, 2006.

CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 409 p.

CORRÊA, M. B. B.; DIONELLO, N. J. L.; CARDOSO, F. F. Caracterização da interação genótipo-ambiente e comparação entre modelos para ajuste do ganho pós-desmama de bovinos Devon via normas de reação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1460-1467, 2009.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. p. 390.

CYRINO, J. E. P.; CONTE, L. Tilapicultura em gaiolas: produção e economia. **Anais... AquaCiência**, Vitória, ES, p. 151-171, 2004.

CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, v.32, p.240-244, 2004.

DE JONG, G. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. **The American Naturalist**, v.145, n.4, p.493-512, 1995.

DE JONG, G.; BIJMA, P. Selection and phenotypic plasticity in evolutionary biology and animal breeding. **Livestock Production Science**, v.78, n.3, p.195-214, 2002.

DE RESENDE, E. K.; DE OLIVEIRA, C. A. L.; PUCHNICK, A. Melhoramento animal no Brasil: uma visão crítica espécies aquáticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 8., Maringá, 2010. **Anais...** Sociedade Brasileira de melhoramento Animal. v.1., p.1-20.

DE SOUZA, B. E.; STRINGUETTA, L. L.; BORDIGNON, A. C.; BOHNENBERGER, L.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. Policultivo do camarão de água doce *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) com a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com rações peletizada e farelada. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p. 225-232, 2009.

EKNATH, A.E.; BENTSEN, H.B.; PONZONI, R.W.; RYE, M.; NGUYEN, N.H.; THODESEN, J.; GJERDE, B. Genetic improvement of farmed tilapias: composition and

genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. **Aquaculture**, v.273, p.1-14, 2007.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Editora UFV, Viçosa, 1987. 279 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. London: Longman. 1996.

FARIA, G.Q.; BONAFÉ, C.M.; SOUZA, K.A.R.; SILVA, M.A.; COSTA, L.S.; LIMA, H.J.D.; CAMPOS, F.G.; SILVA, R.B.; SILVA, A.A.; TAROCÔ, G.; ROCHA, G.M.F.; MIRANDA, J.A. Estimação de valores genéticos para codornas europeias em função dos níveis da relação treonina: lisina da dieta: do nascimento aos 21 dias de idade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n.1, p. 214-224, 2017.

FERREIRA, V. C. P.; PENNA, V. M.; BERGMANN, J. A. G.; TORRES, R. A. Interação genótipo- ambiente em algumas características de gado de corte no Brasil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.53, n.3, p. 385-392. 2001.

FREITAS, L. S. **Estudo da interação genótipo-ambiente para características produtivas em bovinos Gir Leiteiro**. 2012. 75p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG.

FRIDRICH, B. A. **Interações genótipo x ambientes e estimativas de parâmetros genéticos de características ponderais de bovinos da raça Tabapuã**. 2003. 35p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

FRIDRICH, A. B.; SILVA, M. A.; VALENTE, B. D.; SOUSA, J. E.; CORRÊA, G. S.; FERREIRA, I. C.; VENTURA R. V.; SILVA, L. O. Interação genótipo x ambiente e estimativas de parâmetros genéticos dos pesos aos 205 e 365 dias de idade de bovinos Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 4, p. 917-925, 2008.

FÜLBER, V. M.; MENDEZ, L. D. V.; BRACCINI, G. L.; BARRERO, N. M. L.; DIGMEYER, R. P. R. Desempenho comparativo de três linhagens de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em diferentes densidades de estocagem. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, n. 2, p. 177-182, 2009.

FÜLBER, V. M.; RIBEIRO, R. P.; BRACCINI, G. L.; VARGAS, L. D.; MARENGONI, N. G. Desempenho produtivo de três linhagens de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dois níveis de proteína. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 77-83, 2010.

FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, D. M. M. R. E AYROZA, L. M. S. Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis* sp.) em tanque-rede no médio Paranapanema, estado de São Paulo, safra 2004/05. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 3, p. 63-69, 2006.

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. D.; SANTOS, V. D.; SILVA, L. C. R.; SILVA, T. D. C.; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1433-1441. 2005.

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; NEVES, P. R.; SILVA, L. C. R.; HAYASHI, C. Exigência de lisina pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na terminação. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1571-1577, 2004b.

FURUYA, W. M.; MICHELATO, M.; GRACIANO, T. S.; VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; FURUYA, V. R. B.; DE MOURA, L. B. Exigência de lisina digestível para a tilápia-do-Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina: lisina. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34 n. 4, p. 1945-1954. 2013.

FURUYA, W. M.; NEVES, P. R.; SILVA, L. C. R.; BOTARO, D.; HAYASHI, C.; SAKAGUTI, E. S. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante o período de reversão de sexo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 299-303, 2004c.

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FURUYA, V. R. B.; MIRANDA, E. C. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Research**, v.35, p.1110-1116, 2004a.

FURUYA, W. M.; SANTOS, V. G.; SILVA, L. C. R.; FURUYA, V. R. B.; SAKAGUTI, E. S. Exigências de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, supl. p. 937-942, 2006.

GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; TACHIBANA, L.; SANTA ROSA, M. J.; GUIMARÃES, I. G. Relação lisina digestível: proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, p. 2299-2305, 2009.

KHAW, H.L; PONZONI, R.W.; HAMZAH, A.; ABU-BAKAR, K.R.; BIJMA, P. Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.326, n.329, p.53-60, 2012.

KING, R.; STANSFIELD, W. D.; MULLIGAN, P.K. **A Dictionary of Genetics**. 7.ed. Nova Iorque: Oxford Univesity, 2006.

KIRKPATRICK, M.; HECKMAN, N.A Quantitative genetic model for growth, shape and other infinite dimensional characters. **Journal of Mathematical Biology**, v.2, p.429-450, 1990.

KUBITZA, F. A evolução da tilapicultura no Brasil: produção e mercados. **Panorama da Aquicultura**, v. 13, n. 76, p. 25-35, 2003.

KUBITZA, F. Nutrição e alimentação de tilápia. **Panorama da Aquicultura**, v. 2, n. 52, p. 42-50, 1999.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundáí: ed. Autor, 2000. 285p.

LEONHARDT, J. H.; CAETANO FILHO, M.; FROSSARD, H.; MORENO, A. M. Características morfológicas, rendimento e composição do filé de tilápia do Nilo,

Oreochromis niloticus, da linhagem tailandesa, local e do cruzamento de ambas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 1, p. 125-132, 2006.

LOVSHIN, L.L. Tilapia culture in Brazil. **In: Tilapia Aquaculture in the Americas**, vol. 2, ed. Costa-Pierce, B.A. and Rakocy, J.E. pp. 133–140. World aquaculture society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

MACARANAS, J. M.; MATHER, P. B.; LAL, S. N.; VEREIVALU, T.; LAGIBALAVU, M.; CAPRA, M. F. Genotype and environment: a comparative evaluation of four tilapia stocks em Fiji. **Aquaculture**, v.150, p. 11-24, 1997.

MAINARDES PINTO, C. S. R.; PAIVA, P.; VERANI, J. R.; SCORVO FILHO, J. D.; SILVA, A. L. Desempenho produtivo da tilápia tailandesa e da tilápia vermelha da flórida estocadas em diferentes densidades, em tanques-rede instalados em viveiros. **Boletim Instituto da Pesca**, v. 37, n.3, p. 225 – 234, 2011.

MARENGONI, N. G., POSSAMAI, M., JÚNIOR, A. C. G., & DE ALMEIDA OLIVEIRA, A. A. M. Performance e retenção de metais pesados em três linhagens de juvenis de tilápia-do-Nilo em hapas. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 30, n. 3, p. 351-358, 2008.

MASSAGO, H.; CASTAGNOLLI, N.; MALHEIROS, E. B.; KOBERSTEIN, T. C. R. D.; SANTOS, M. A.; RIBEIRO, R. P. Crescimento de quatro linhagens de tilápia *Oreochromis niloticus*. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, v.8, n.4, p. 397-403, 2010.

MCKAY, L. R.; SCHAEFFER, L. R.; MCMILLAN, I. Analysis of growth curves in rainbow trout using random regression. **In: proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production**, Communication n° 06-11. 2002.

MERCADANTE, M. E. Z.; PACKER, I. U.; RAZOOK, A. G.; MELO, C. M. R.; CYRILLO, J. N. S.; FIGUEIREDO, L. A. Dias ao parto de fêmeas Nelore de um experimento de seleção para crescimento. II-Modelo de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1726-1733, 2002.

MEYER, K. Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. **Livestock Production Science**, v.86, p.69-83, 2003 *apud* CORRÊA, M. B. B.; DIONELLO, N. J. L.; CARDOSO, F. F. Caracterização da interação genótipo-ambiente e comparação entre modelos para ajuste do ganho pós-demama de bovinos Devon via normas de reação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1460-1467, 2009.

MIRANDA, J. A. **Interação genótipo x relação metionina+cistina: lisina em dietas de codornas de corte**. 2015. 112p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federa dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina: 2015.

MIRANDA, J. A.; PIRES, A. V.; ABREU, L. R. A.; MOTA, L. F. M.; SILVA, M. A.; BONAFÉ, C. M.; LIMA, H.J.D.; MARTINS, P. G. M. A. Sensitivity of breeding values for carcass traits of meat-type quail to changes in dietary (methionine+ cystine): lysine ratio using reaction norm models. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 133, n. 6, p. 463-475, 2016.

MORAES, A. M.; SEIFFERT, W. Q.; TAVARES, F.; FRACALOSSO, D. M. Desempenho zootécnico de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, com diferentes rações comerciais **Revista Ciências Agrônômica**, v. 40, n. 3, p. 388-395, 2009.

MOTA, L. F.; ABREU, L. R.; SILVA, M. A.; PIRES, A. V.; LIMA, H. J.; BONAFÉ, C. M.; COSTA, L. S.; SOUZA, K. A.R.; MARTINS, P. G. Genotype x dietary (methionine+ cystine): Lysine ratio interaction for body weight of meat-type quails using reaction norm models. **Livestock Science**, v. 182, p. 137-144, 2015.

MOURA, G. S.; OLIVEIRA, M. G. A.; LANNA, E. A. T. Atividade de tripsina no quimo de tilápia-tailandesa submetida a diferentes temperaturas da água. **Revista Brasileira de Zootecnista**, v.38, n.11, p.2086-2090, 2009.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1328 p.

NELSON, J. S. **Fishes of the world**. Wiley, New York. 1994. 600 p.

NEUMANN, E.; KOBERSTEIN, T. C. R. D.; BRAGA, F. M. S. Desempenho de três linhagens de tilápia submetidas ao tratamento com 17- α -metiltestosterona em condições ambientais não controladas. **Revista Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 6, p. 973-979, 2009.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington, D.C., 2011. 376p.

NRC. National Research council. **Nutrient requirements of fish**. Washington: National Academy, 1993. 114p.

ODA, C. E. **Desempenho produtivo de linhagens de Oreochromis niloticus cultivadas em viveiros adubados na região do Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil**. 2015. 59p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2015.

OLIVEIRA, S. N.; MACHADO, L. M. C.; MATSUBARA, B. J. A.; DE CASTRO, P. L.; DE OLIVEIRA, C. A. L.; RIBEIRO, R. P. Interação genótipo x ambiente para peso vivo em Tilápias (*Oreochromis niloticus*), variedade GIFT. **Anais... X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG**, 2013.

OMASAKI, S. K.; CHARO-KARISA, H.; KAHN, A. K.; KOMEN, H. Genotype by environment interaction for harvest weight, growth rate and shape between monosex and mixed sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 458, p. 75-81, 2016.

OZÓRIO, R. O. A.; VAN EEKEREN, T. H. B.; HUISMAN, E. A.; VERRETH, J. A. J. Effects of dietary carnitine and protein energy: nonprotein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles. **Aquaculture Research**, v.32, n. s1, p. 406-414, 2001.

PAIVA, P.; MAINARDES-PINTO, C. S. R.; VERANI, J. R.; SILVA, A. L. Produção da tilápia tailandesa *Oreochromis niloticus*, estocada em diferentes densidades em tanques-rede de pequeno volume instalados em viveiros de piscicultura povoados ou não com a mesma espécie. **Boletim Instituto da Pesca**, v. 34, n.1, p.79 - 88, 2008.

PEDREIRA, M. M.; SCHORER, M.; OLIVEIRA, I. F.; TESSITORE, A. J. Cultivo de duas linhagens de tilápia nilótica sob diferentes densidades de estocagem em tanques-rede. **Revista Acadêmica Ciências Animal**, v.14, p.37-45, 2016.

PERES, H.; OLIVA-TELES, A. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. **Aquaculture**, v. 275, n. 1, p. 283-290, 2008.

PINHEIRO, L. M. S.; MARTINS, R. T.; PINHEIRO, L. A. S.; PINHEIRO, L. E. L. Rendimento industrial de filetagem da tilápia tailandesa (*Oreochromis* spp.). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.2, p.257-262, 2006.

PIRES, A. V.; PEDREIRA, M. M.; PEREIRA, I. G.; FONSECA JÚNIOR, A.; ARAÚJO, C. V.; SILVA, L. H. S. Predição do rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá**, v. 33, n. 3, p. 315-319, 2011.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. D. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.1, p. 179-187, 2006.

PONZONI, R. W.; HAMZAH, A.; TAN, S.; KAMARUZZAMAN, N. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 247, n. 1, p. 203-210, 2005.

PONZONI, R. W.; NGUYEN, N. H.; KHAW, H. L. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, n.268, p.187-199, 2007.

PONZONI, R. W.; NGUYEN, N. H.; KHAW, H. L.; NINH, N. H. Accounting for genotype by environment interaction in economic appraisal of genetic improvement programs in common carp *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, v. 285, n. 1, p. 47-55, 2008.

PONZONI, R. W.; NGUYEN, N. H.; KHAW, H. L.; HAMZAH, A.; BAKAR, K. R. A.; YEE, H. Y. Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the WorldFish Center with the GIFT strain. **Reviews in Aquaculture**, v. 3, n. 1, p. 27-41, 2011.

POPMA, T. J.; PHELPS, R. P. Status report to commercial tilapia producers on monosex finger ling productions techniques. In: AQUICULTURA BRASIL'98, 1., 1998, Recife. **Anais...** Recife: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 1998. p.127-145.

POPMA, T.; MASSER, M. Tilapia: life history and biology. **Southern Regional Aquaculture Center**, MSU. Mississippi, United States of America. n. 283, 4 p., 1999.

RAMPE, M. C.C.; PACHECO, M. L.; VARGAS JÚNIOR, J. G.; GIANNOTTI, J. D. G.; DEMUNER, L. F.; MARIN, J. F. V. Adição de lisina digestível em rações experimentais para

juvenis de tilápia-do-nilo. Arquivo **Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 5, p. 1557-1566, 2014.

RIBEIRO, S.; ELER, J. P.; PEDROSA, V. B.; ROSA, G. J. M.; FERRAZ, J. B. S.; BALIEIRO, J. C. C. Genotype x environment interaction for weaning weight in Nellore cattle using reaction norm analysis. **Livestock Science**, v.176, p.40-46, 2015.

RIDHA, M. T. Comparative study of growth performance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L. at two stocking densities. **Aquaculture Research**, v.37, p.172-179, 2006.

RIGHETTI, J. S.; FURUYA, W. M.; CONEJERO, C. I.; GRACIANO, T. S.; VIDAL, L. V. O.; MICHELLATO, M. Redução da proteína em dietas para tilápias-do-nilo por meio da suplementação de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 469-476, 2011.

ROBERTSON, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. **Biometrics**, v.15, n.3, p. 469–485, 1959.

RODRIGUES, D.T. **Interação genótipos ambientes em animais via modelos de normas de reação**. 2012. 70p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: 2012.

RUTTEN, M. J. M.; BOVENHUI, H.; KOMEN, H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.231, p.113–122, 2004.

RUTTEN, M.J.M.; KOMEN, H.; BOVENHUIS, H. Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. **Aquaculture**, v.246, n.1, p.101–113, 2005.

SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. **Journal of Nutrition**, v.118, p.1540-1546, 1988.

SANTOS, A.I; NGUYEN, N. H.; PONZONI, R. W.; YEE, H. Y.; HAMZAH, A.; RIBEIRO, R. P. Growth and survival rate of three genetic groups fed 28% and 34% protein diets. **Aquaculture Research**, v. 45, n. 2, p. 353-361, 2014.

SANTOS, F. W. B. Nutrição de peixes de água doce: definições, perspectivas e avanços científicos. **Rio de Janeiro, Brasil**, 2007. Disponível em: http://www.higieneanimal.ufc.br/anais/anaisb/aa22_01b.pdf. Acesso em: 20 dez. 2016.

SANTOS, V. B.; FREITAS, R. T. F.; SILVA, F. F.; FREATO, T. A. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p.486-1492. 2007.

SCHAEFFER, L. R; JAMROZIK, J. Random regression models: a longitudinal perspective. **Journal of Animal Breeding and Genetics**. v. 125, n. 3, p. 145-146, 2008.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Aquacultura no Brasil: Séries estudos mercadológicos**. 71p., 2015.

SILVA, E. T. L. D.; PEDREIRA, M.; MOURA, G. D. S.; PEREIRA, D. K. A.; OTONI, C. J. Larval culture of Nile tilapia line ages at different storage densities. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 709-715, 2016.

SOUZA, M. L. R. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1076-1084, 2002.

SOUZA, M. L. R.; MARANHÃO, T. C. F. Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. **Acta Scientiarum, Maringá**, v.23, n.4, p.897-901, 2001.

SOUZA, M. L. R.; MARENGONI, N.G.; PINTO, A. A.; CAÇADOR, W. C. Rendimento do processamento da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*): tipos de corte da cabeça em duas categorias de peso. **Acta Scientiarum** v.22, n.3, p.701-706, 2000.

SUSSEL, F. R. **Tilapicultura no Brasil e entraves na produção**. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios-Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Pirassununga, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de, v. 8510, 2013.

TACHIBANA, L.; CASTAGNOLLI, N.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; VALLE, J. B.; SIQUEIRA, M. R. Desempenho de diferentes linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de reversão sexual. **Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá**, v. 26, n. 3, p. 305-311, 2004.

TAKISHITA, S. S.; LANNA, E. A. T.; DONZELE, J. L.; BOMFIM, M. A. D.; QUADROS, M.; SOUSA, M. P. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.11, p.2099-2105, 2009.

TORAL, F. L. B.; SILVA, L. O. C.; MARTINS, E. N.; GONDO, A.; SIMONELLI, S. M. Interação genótipo ambiente em características de crescimento em bovinos da raça Nelore no Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1445-1455. 2004.

TURRA, E. M.; OLIVEIRA, D. A. A.; VALENTE, B. D.; TEIXEIRA, E. DE A.; PRADO, S. DE A.; DE MELO, D. C.; FERNANDES, A. F. A.; ALVARENGA, E. R. DE; SILVA, M. A. Estimation of genetic parameters for body weights of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* using random regression models. **Aquaculture**, v. 354, p. 31-37, 2012.

TURRA, E. M.; TORAL, F. L. B.; DE ALVARENGA, É. R.; RAIDAN, F. S. S.; ARAÚJO FERNANDES, A. F.; OLIVEIRA ALVES, G. F.; SALES, S. C. M.; TEIXEIRA, E. A.; MANDUCA, L. G.; BRITO, T. S.; SILVA JÚNIOR, A. F.; ALMEIDA, L. F. C.; SANTOS, C. R.; SILVA, M. A. Genotype × environment interaction for growth traits of Nile tilapia in biofloc technology, recirculating water and Cage systems. **Aquaculture**, v. 460, p. 98-104, 2016.

VAN DER WERF, J.H.J.; GODDARD, M.E.; MEYER, K. The use of covariance functions and random regressions for genetic evaluation of milk production based on test day records. **Journal of Dairy Science**, v.81, n. 12, p.3300-3308. 1998.

VELOSO, R. C.; ABREU, L. R. A.; MOTA, L. F. M.; CASTRO, M. R.; SILVA, M. A.; PIRES, A. V.; LIMA, H. J. D'A.; BOARI, C. A. Reaction norm models for the study of meat quality of European quail in function of (methionine+ cysteine): lysine diet ratio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 5, p. 1438-1448, 2015.

VICENTE, I. S. T.; ELIAS, F.; FONSECA-ALVES, C. E. Perspectivas da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 392-398, 2014.

VIEIRA, V. P.; RIBEIRO, R. P.; MOREIRA, H. L. M.; POVH, J. A.; VARGAS, L.; BARRERO, N. M. L. Avaliação do desempenho produtivo de linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em Maringá-PR. **Revista Acadêmica**, v.3, n.3, p.19-26. 2005.

WAGNER, P. M.; RIBEIRO, R. P.; MOREIRA, H. L. M.; VARGAS, L.; POVH, J. A. Avaliação do desempenho produtivo de linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes fases de criação. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 2, p. 187-196, 2004.

WOLTERECK, R. Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphnien. **Verhandlungen der deutschen zoologischen Gesellschaft**, v19. p. 110–173. 1909 *apud* CARDOSO, L. L.; BRACCINI NETO, J.; CARDOSO, F. F.; COBUCI, J. A.; BIASUS, I. D. O.; BARCELLOS, J. O. J. Hierarchical Bayesian models for genotype \times environment estimates in post-weaning gain of Hereford bovine via reaction norms. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 294-300, 2011.

WU, G. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. CRC Press. 2013, 503 p.

YOSHIDA, G. M.; DE OLIVEIRA, C. A. L.; DE OLIVEIRA, S. N.; KUNITA, N. M.; DE RESENDE, E. K.; ALEXANDRE FILHO, L.; RIBEIRO, R. P. Associação entre características de desempenho de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 8, p. 816-824, 2013.

ZIMMERMANN, S. Incubação artificial: técnica permite a produção de tilápias-do-nilo geneticamente superiores. **Revista Panorama da Aquicultura** v. 9, n. 54, p. 15-21, 1999.

ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. **Tilapicultura intensiva. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical**. São Paulo, SP: TecArt, v. 1, p. 239-266, 2004.

ARTIGO 01 - SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS DE TILÁPIAS DO NILO EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DIETÉTICOS DE LISINA DIGESTÍVEL AOS 150 DIAS DE IDADE

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a sensibilidade dos valores genéticos ao nível dietético de lisina digestível para características de peso e medidas morfométricas de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa aos 150 dias de idades. As tilápias foram alimentadas com dietas contendo 32% de proteína bruta e 3190 de energia metabolizável (kcal/kg de dieta), com níveis crescentes de lisina digestível (1,43, 1,53, 1,63, 1,73, 1,83%). Foram utilizados para as análises 5468 registros, coletados aos 150 dias de idade de 700 progênes de 21 reprodutores e 29 matrizes de tilápias tailandesas. Foi utilizado modelo animal uni-característica, incluindo o sexo como efeito fixo e o valor genético e da família como efeitos aleatórios sendo os níveis de lisina digestível nas dietas a variável controle. Normas de reação foram utilizadas, por meio de polinômios de Legendre para avaliar a sensibilidade dos valores genéticos das características mensuradas nos peixes aos níveis de lisina digestível das dietas experimentais. A variância residual foi homogênea ao longo do intervalo do nível de lisina estudado para quase todas as características com exceção da medida morfométrica largura e das relações comprimento padrão/total e largura/altura, que apresentaram variâncias residuais heterogêneas. As estimativas de variância genética e de família, bem como de herdabilidade variaram ao longo do gradiente nutricional. As relações morfométricas estudadas apresentaram diferentes sensibilidades aos níveis de lisina digestível das dietas. Observou-se a existência da interação genótipo x ambiente (níveis de lisina digestível), com mudanças no ordenamento dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental para essas características. Portanto, de forma geral, as tilápias devem ser alimentadas com o mesmo nível dietético de lisina digestível em que foram selecionadas. Conclui-se que os valores genéticos das características avaliadas nas tilápias podem alterar ao longo do gradiente ambiental ou nível de lisina digestível das dietas.

Palavras-chave: Componentes de variância. Interação genótipo x ambiente. Linhagem. Chitralada. Modelo de regressão aleatória. *Oreochromis niloticus*.

SENSITIVITY OF GENETIC VALUES OF CHARACTERISTICS OF NILE TILAPS IN THE FUNCTION OF THE DIETARY LEVEL OF LYSINE DIGESTIBLE AT 150 DAYS OF AGE

ABSTRACT

This research was carried out with the objective of evaluating the sensitivity of the genetic values to the dietary level of digestible lysine for weight characteristics and morphometric measurements of Nile tilapia of the Thai lineage at 150 days of age. The tilapia were fed diets containing 32% crude protein and 3190 metabolizable energy (kcal / kg diet), with increasing levels of digestible lysine (1.43, 1.53, 1.63, 1.73, 1, 83%). We used 5468 records collected at 150 days of age from 700 progenies from 21 broilers and 29 matrices from Thai tilapia. It was used uni animal model feature, including sex as fixed effect and genetic and family value as random effects and the levels of digestible lysine in the diets were the control variable. Reaction standards were used, through Legendre polynomials to evaluate the sensitivity of the genetic values of the characteristics measured in the fish to the levels of digestible lysine of the experimental diet. The residual variance was homogeneous over the range of the lysine level studied for almost all characteristics except for the morphometric measure width and the standard / total length and width / height relationships, which presented heterogeneous residual variances. Estimates of genetic and family variance as well as heritability varied along the nutritional gradient. The morphometric relationships studied presented different sensitivities to the digestible lysine levels of the diets. It was observed the existence of genotype x environment interaction (digestible lysine levels), with changes in the ordering of genetic values along the environmental gradient for these characteristics. Therefore, in general, tilapia should be fed with the same dietary level of digestible lysine in which they were selected. It is concluded that the genetic values of the characteristics evaluated in the tilapias can change along the environmental gradient or level of digestible lysine of the diets.

Keywords: Chitralada strain. Component of variance. Genotype x environment interaction. Random regression model. *Oreochromis niloticus*

1 INTRODUÇÃO

Várias linhagens de *Oreochromis niloticus* Linnaeus (1757) têm surgido no mundo e dentre essas a tailandesa merece atenção especial, em razão do seu comportamento dócil e elevado potencial de produção (SANTOS et al., 2007). A intensificação mundial dos cultivos de linhagens nilóticas tem aumentado a busca por peixes com maior desempenho em características de interesse econômico. As características morfométricas e o peso corporal têm sido objetivo de diversas pesquisas (RUTTEN et al., 2004; RUTTEN et al., 2005; KHAW et al., 2012; CONTI et al., 2014) e podem fornecer parâmetros passíveis de serem explorados em programas de melhoramento de tilápias.

Geralmente, em programas de melhoramento a seleção é realizada em animais com maior valor genético aditivo, visando ao melhor desempenho produtivo. No entanto, o valor genético atribuído ao animal pode não ser válido para um ambiente nutricional diferente daquele em que foi predito (MOTA et al., 2015), em decorrência da interação genótipo x gradiente nutricional, ou nível de lisina digestível nas dietas de peixes.

A lisina é importante aminoácido essencial e um dos nutrientes mais limitantes em fontes de proteína (RAMPE et al., 2014) comumente utilizadas nas formulações das dietas para peixes. Sua suplementação está relacionada ao aumento de peso e à melhor conversão alimentar, dentre outros efeitos associados ao crescimento dos peixes (FURUYA et al., 2013).

A existência da interação genótipo x ambiente (IGA) deve ser considerada na seleção de tilápias, pois nesta situação alguns dos genes que controlam o fenótipo em um ambiente podem ser diferentes daqueles que controlam as mesmas características em outros ambientes (FALCONER, 1987) podendo resultar em alteração ou reordenamento dos valores genéticos dos peixes ao longo do gradiente ambiental (VELOSO et al., 2015; MIRANDA et al., 2016).

A avaliação da IGA pode ser feita por meio de diferentes metodologias. Os modelos de regressão aleatória têm sido amplamente utilizados em análises de dados longitudinais para modelar características em várias espécies de animais domésticos, incluindo tilápias (ROMANA-EGUIA e DOYLE, 1992; RUTTEN et al., 2005; TURRA et al., 2012; CONTI et al., 2014; FARIA et al., 2017).

Segundo Falconer e Mackay (1996), os modelos de regressão aleatória por meio de norma de reação permitem estudar a interação do genótipo em peixes pela sensibilidade dos valores genéticos às variações gradativas do ambiente (nível de lisina nas dietas). Além de

possibilitar a obtenção de estimativas de variâncias, covariâncias e herdabilidades das características aos níveis de lisina digestível, dentro do intervalo considerado no estudo (FELIPE et al., 2012; TURRA et al., 2012; MOTA et al., 2015; VELOSO et al., 2015; MIRANDA et al., 2016).

Na literatura encontram-se estudos avaliando parâmetros genéticos para características de tilápia do Nilo em diferentes condições (RUTTEN et al., 2005; TURRA et al., 2012; YOSHIDA et al., 2013b; TURRA et al., 2016). Contudo, são escassos os estudos que avaliam as covariâncias genéticas quando se altera o nível dietético de lisina digestível.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar, aos 150 dias de idade, o efeito da interação genótipo x nível dietético de lisina digestível em características de desempenho e de morfometria das tilápias do Nilo da linhagem tailandesa por meio de modelos de norma de reação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Peixe e condições experimentais

A pesquisa foi conduzida nas instalações do Laboratório de Aquicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Diamantina, Minas Gerais, Brasil (43 ° 340 W E 18 ° 120 S), com a autorização do CEUA (Comissão de Ética no Uso de Animais da UFVJM), protocolo nº057/2015.

Foi utilizada tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem Tailandesa, do programa de melhoramento animal da UFVJM. Para obter as 29 famílias de irmãos completos no acasalamento foram mantidos um macho e três fêmeas, em tanque circular de 1 m³ de polietileno, identificadas com um dispositivo integrado (tags). Após uma semana as fêmeas que apresentaram ovos na boca foram retiradas dos tanques e alocadas em outro tanque dentro de estufa com capacidade de 15 mil litros. Os ovos retirados da boca das fêmeas foram identificados por família e transferidos para um período de incubação por uma semana em incubadora de 2,5 litros, conectadas a aquários de 3,4 litros (FIG. 1) em sistema de recirculação de água, que manteve os ovos em movimento constante.

Figura 1 – Sistema de Incubação dos ovos de tilápias do Nilo



A cada semana as fêmeas que não apresentaram ovos na boca do grupo de coleta permaneciam nas caixas de reprodução para continuarem com o macho por mais uma semana. As famílias foram geradas por 29 matrizes e 21 reprodutores em um período de acasalamento de 3 semanas (29 de outubro a 13 de novembro de 2015). Os reprodutores foram mantidos em um sistema de recirculação de água, com controle de qualidade da água para proporcionar bem-estar e promover o sucesso reprodutivo dos peixes. As famílias de irmãos completos (progênie de um macho e uma fêmea) foram transferidas para tanques individuais com volume útil de 70 litros cada, à medida que as larvas começavam a nadar e passavam da incubadora para o aquário.

Após três semanas, 80 a 100 alevinos de cada família foram transferidos para tanques de volume útil de 140L mantidos em estufa. Após cinco semanas foram transferidos para tanques de 1m³ até atingirem peso médio de 20g. A qualidade da água foi mantida pela substituição de 30% da água de circulação e auxílio de filtro mecânico, biológico e luz UV.

Os peixes que apresentaram peso médio de 20g (± 5 g), entre 87 e 102 dias de idade pós-incubação, foram identificados com microchips, implantados na cavidade celomática. Em decorrência das sobrevivências desiguais, o número de peixes marcados por família foi diferente, com um total de 700 alevinos marcados, referentes às 29 famílias de tilápias do Nilo.

Após a marcação das tilápias, os peixes de cada família foram distribuídos nos cinco tratamentos, com sete repetições, em 35 tanques circulares 1m³ dentro de estufa, até formar um lote de vinte alevinos por tanque (repetição) e 140 peixes por tratamento do experimento. A distribuição dos peixes foi feita aleatoriamente por família de forma a garantir que pelo menos um integrante de cada família fosse distribuído em cada tratamento. O período experimental teve duração baseado nos pesos médios de 20g (inicial) e aproximado de 100g (final) compreendidas entre 94 a 154 dias de idade dos peixes.

2.2 Dietas experimentais

Após o período de incubação, as tilápias foram alimentadas quatro vezes ao dia, à uma taxa de 5% de peso corporal. Receberam dieta extrusada e triturada a pó contendo 45% de proteína bruta nas sete primeiras semanas e dieta extrusada, parcialmente quebrada, contendo 32% de proteína bruta até o momento da marcação (TAB. 1).

Tabela 1 - Composição das dietas para tilápias do Nilo na fase inicial de crescimento até peso médio de 20g

Ingredientes	Níveis de garantia	
	45 %	32%
Umidade (g/kg)	100	100
Proteína bruta (g/kg)	450	320
Extrato etéreo (g/kg)	80	60
Matéria mineral (g/kg)	150	130
Fibra bruta (g/kg)	40	55
Cálcio (g/kg)	30	25
Fosfóro (mg/kg)	8000	6000
Vitamina C (mg/kg)	600	300
Granulometria (mm)	2,6	4

Os peixes, após distribuição nos tratamentos foram alimentados com dieta extrusada com tamanho entre 4 e 6 mm contendo diferentes níveis de lisina digestível: 1,43; 1,53; 1,63; 1,73; e 1,83% (TAB. 2). O manejo da alimentação foi o mesmo para todos os peixes, sendo quatro vezes ao dia (08, 11, 14 e 17 horas) e com sucessivos repasses até a aparente saciedade dos peixes sem perdas de dieta, a fim de possibilitar a ingestão máxima e diminuir a possibilidade de lixiviações.

Tabela 2 - Composição das dietas experimentais para tilápias do Nilo de 94 a 154 dias de idade

Ingredientes (%)	Níveis de lisina digestível (%)				
	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Farelo de soja 45%	46,69	46,69	46,69	46,69	46,69
Quirera de arroz	22,66	22,66	22,66	22,66	22,66
Milho moído	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
Glúten 60%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de soja	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Calcário calcítico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fosfato bicálcico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Inerte (Caulim)	0,617	0,777	0,892	1,025	1,128
Suplemento vit e min ⁽¹⁾	0,5	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-lisina HCl	0,052	0,181	0,310	0,439	0,568
D,L-metionina	0,306	0,362	0,426	0,487	0,548
L-treonina	0,265	0,500	0,542	0,649	0,756
L-ácido glutâmico	1,760	1,180	0,830	0,400	-
BHT	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição calculada					
Matéria seca (%)	84,58	84,92	85,23	85,54	85,83
Energia digestível (kcal/kg)	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0
Proteína bruta (%)	31,42	31,42	31,42	31,42	31,42
Proteína digestível (%)	29,09	29,09	29,09	29,09	29,09
Fibra bruta (%)	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Extrato etéreo (%)	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Fósforo total (%)	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Fósforo disponível (%)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Cálcio total (%)	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
Lisina total (%)	1,53	1,63	1,73	1,83	1,93
Lisina digestível (%)	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Met + Cist total (%)	1,26	1,31	1,37	1,44	1,50
Met + Cist digestível (%)	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10
Treonina total (%)	1,45	1,56	1,67	1,78	1,89
Treonina digestível (%)	1,10	1,18	1,25	1,33	1,41
Arginina total (%)	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
Arginina digestível (%)	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Leucina total (%)	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Leucina digestível (%)	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Triptofano total (%)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Triptofano digestível (%)	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Amido (%)	30,08	30,08	30,08	30,08	30,08
Ácido linoleico (%)	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27

⁽¹⁾Composição por quilograma do produto: 1.200.000 UI de Vitamina A₃; 200.000 UI de Vitamina D₃; 1.200 mg de Vitamina E; 2.400 mg de Vitamina K₃; 4.800 mg de Vitamina B₁; 4.800 mg de Vitamina B₂; 4.800 mg de Vitamina B₆; 4.800 mg de Vitamina B₁₂; 48 g de Vitamina C₃; 1200 mg de ácido fólico (*folicacid*); 12.000 mg de pantotenato de Ca (*panthotenicacid*); 48 mg de biotina (*biotin*); 108 g de cloreto de colina (*cholin*); 24.000 mg de niacina (*niacin*); 50.000 mg de Fe; 3.000 mg de Cu; 20.000 mg de Mn; 30.000 mg de Zn; 100 mg de I; 10 mg de Co; 100 mg de Se.

2.3 Parâmetros biológicos

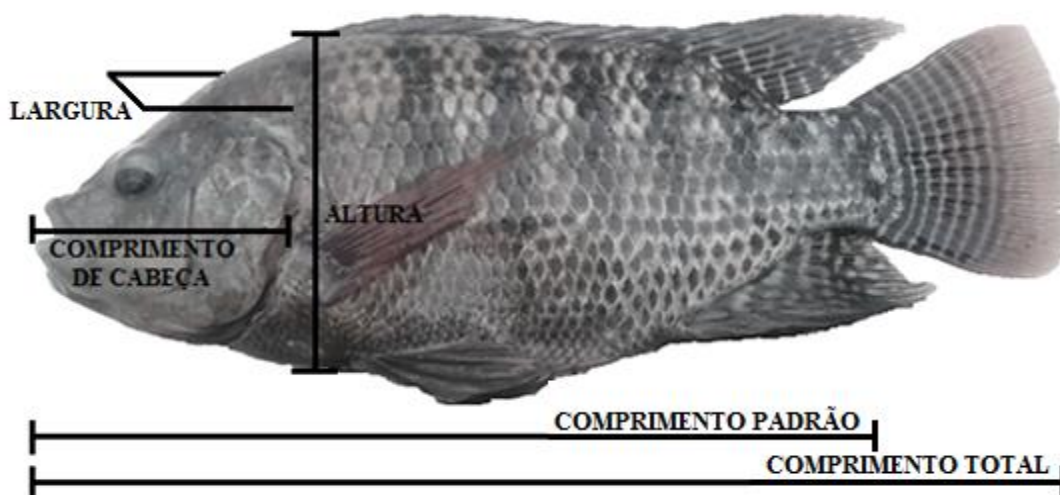
Ao longo de todo o período experimental os parâmetros físicos e químicos da água (TAB. 3) foram constantemente monitorados e manipulados, e permanecerem nos padrões adequados para a tilápia, conforme observado em outros estudos (KUBITZA, 2000; MOURA et al., 2009; TURRA et al., 2016).

Tabela 3 - Parâmetros da água durante o período experimental

Variáveis	Valores Médios	Desvio Padrão
Oxigênio dissolvido (mg/L)	4,99	0,96
Amônia	0,30	0,19
pH	7,09	0,46
Temperatura (°C)	25,72	1,50

No momento da identificação dos peixes, a biometria foi realizada para a obtenção das medidas morfométricas (FIG. 2). As informações coletadas, nas tilápias individualmente, durante as biometrias foram peso, comprimento total, comprimento padrão, comprimento de cabeça, altura e largura, de acordo com Diodatti (2006).

Figura 2 - Medidas morfométrica de tilápias do Nilo



Foram utilizados paquímetros de 15 cm e réguas de 50cm para obtenção das medidas morfométricas e para determinar o peso das tilápias foi utilizado balança eletrônica com 0,01g de precisão. Após 45 dias da marcação, os peixes foram pesados novamente e

determinado o sexo, os animais apresentavam idade média aproximada de $150(\pm 4)$ dias de idade.

As idades dos peixes para todas as características avaliadas nos diferentes níveis de lisina foram padronizadas para 100 e 150 dias.

A partir das medidas morfométricas padronizadas para 150 dias de idade das tilápias, como complemento, calcularam-se as seguintes razões morfométricas: comprimento de cabeça e comprimento padrão (CC/CP), largura e altura (L/A) e comprimento padrão e comprimento total (CP/CT). A partir das informações dos pesos padronizados, foram calculados o ganho de peso total (GPT), obtido pela diferença do ganho de peso entre as pesagens de cada tilápia e o ganho de peso diário (GPD), obtido pela divisão do ganho de peso total pelo intervalo de dias entre as pesagens.

2.4 Análise estatística

Foi eliminado um total de 3% dos peixes por não apresentarem informações nas características ou por não apresentarem identificação do sexo. A descrição dos dados após análise de consistência para cada nível de lisina está representada na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição das observações, média e respectivos coeficientes de variação de acordo com o nível de lisina na dieta em características de medidas corporais e de desempenho de tilápia do Nilo da linhagem tailandesa aos 150 dias de idade

Características	N	PED	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV (%)
Altura (cm)	685	756	2,47	7,06	4,87	0,59	12,11
CC (cm)	683	754	2,43	5,75	4,15	0,51	12,29
CP (cm)	677	748	7,74	16,61	13,26	1,14	8,60
CT (cm)	685	756	10,07	19,86	16,32	1,35	8,27
Largura (cm)	685	756	1,09	3,32	2,38	0,48	12,61
Peso 150d (g)	686	757	15,37	162,20	94,54	0,30	24,07
GPT	683	754	19,05	137,45	75,93	21,08	27,76
GPD	686	757	-0,04	3,16	1,67	21,81	28,74
CC/CP	678	749	0,18	0,41	0,31	0,03	9,68
CP/CT	677	748	0,71	0,95	0,81	0,02	2,47
L/A	685	756	0,23	0,79	0,49	0,06	12,24

Características	Nível lisina digestível (%)									
	1,43		1,53		1,63		1,73		1,83	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Altura (cm)	4,63	11,23	4,66	11,38	4,97	11,97	5,10	10,82	5,00	12,25
CC (cm)	4,12	11,50	4,03	12,19	4,39	10,67	4,25	10,90	3,96	13,23
CP (cm)	13,09	8,65	13,23	9,14	13,29	8,77	13,45	7,65	13,23	8,54
CT (cm)	16,12	8,22	16,21	8,79	16,52	8,18	16,58	7,56	16,15	8,30
Largura (cm)	2,24	15,55	2,37	12,65	2,40	12,10	2,49	9,80	2,38	10,50
Peso 150d (g)	90,79	25,44	94,01	25,44	95,48	24,11	97,65	21,63	94,66	23,68
GPT	71,95	30,12	75,47	29,82	77,59	25,91	78,88	25,41	75,69	27,21
GPD	1,58	30,69	1,67	30,31	1,68	29,63	1,74	25,90	1,68	28,16
CC/CP	0,31	8,77	0,30	8,73	0,33	7,57	0,32	8,21	0,30	11,48
CP/CT	0,81	3,09	0,82	2,64	0,81	3,26	0,81	2,45	0,82	3,09
L/A	0,48	14,20	0,51	11,12	0,49	12,22	0,49	7,54	0,48	11,45

*N – número de animais observados; PED - número de animais que tiveram relação com o arquivo pedigree; DP - desvio padrão; CV – coeficiente de variação; CC – comprimento de cabeça; CP - comprimento padrão; CT - comprimento total; CC/CP - relação entre comprimento de cabeça e comprimento padrão; L/A - relação entre largura e altura; CP/CT - relação entre comprimento padrão e comprimento total; GPT - ganho de peso total; GPD - ganho de peso diário.

O efeito ambiental comum, denominado efeito de família foi considerado na análise e, refere-se ao tempo em que as larvas permanecem separadas por família até serem distribuídas aleatoriamente nos tratamentos. Em famílias de irmãos completos, a variância em razão dos efeitos maternos pode ser absorvida pelo efeito aleatório de família (RUTTEN, et al. 2005).

As características de desempenho e medidas corporais foram analisadas utilizando o modelo de regressão aleatória, sob modelo animal uni-característica, incluindo-se funções do efeito de sexo (fixo), do valor genético aditivo e de família (aleatórios) das tilápias, além do efeito residual. No modelo de análises foi considerado o efeito fixo de sexo, a trajetória média modelada como função de polinômios ortogonais de Legendre de segunda e terceira ordem, além dos efeitos aleatórios modelados por polinômios ortogonais de Legendre de segunda ordem.

Desta forma, o modelo utilizado para a análise em notação matricial, pode ser definido como:

$$y = Xb + Z_1u + Z_2f + e;$$

em que y é o vetor com as observações, b é o vetor de efeitos fixos de sexo e da trajetória média de crescimento; u e f são vetores com coeficientes de regressão relativos aos efeitos genético aditivo direto e família, respectivamente; X , Z_1 e Z_2 são matrizes de incidência nas observações dos efeitos nos vetores b , u e f , respectivamente, contendo os polinômios de Legendre relativos a cada nível de lisina, e e é o vetor dos resíduos.

Consideraram-se nas análises existências de classes de variância residual homogênea a heterogêneas, segundo diferentes níveis de lisina digestível, sendo:

Classe 1: variância residual homogênea (1,43 a 1,83% de lisina);

Classe 2: variâncias heterogêneas em duas classes diferentes (1,43 a 1,52; 1,53 a 1,83% de lisina);

Classe 3: variâncias heterogêneas em três classes (1,43 a 1,52; 1,53 a 1,62; 1,63 a 1,83% de lisina);

Classe 4: variâncias heterogêneas em quatro classes (1,43 a 1,52; 1,53 a 1,62; 1,63 a 1,72; 1,73 a 1,83% de lisina).

As premissas dos modelos foram:

$$E(y) = Xb;$$

$$E(Z_1u) = E(Z_2f) = E(e) = 0;$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{bo}^2 & \sigma_{bo,b1} \\ \sigma_{b1,b0} & \sigma_{b1}^2 \end{bmatrix}; e$$

$$V(y) = Z_1(A \otimes G)Z'_1 + Z_2(I_m \otimes F)Z'_2 + I_n \sigma_{e_i}^2;$$

em que: $\sigma_{b_0}^2$ e $\sigma_{b_1}^2$ são componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão aleatória do intercepto (b_0) e de regressão linear (b_1) do efeito genético aditivo direto, σ_{b_0, b_1} é o componente de covariância entre os coeficientes de regressão aleatória (b_0 e b_1) do efeito genético aditivo direto, $\sigma_{e_i}^2$ é o componente de variância residual $i = 1, 2, 3$ e 4 (1 – homogênea com uma classe; $2, 3$ e 4 – heterogênea com duas, três e quatro classes de variâncias residuais respectivamente), A é a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco de Wright, G e F são matrizes que contêm componentes de covariância dos coeficientes de regressão aleatórios dos efeitos genéticos aditivos e de família, respectivamente (a ordem é em função da ordem do polinômio do modelo), I é a matriz identidade, m é o número de fêmeas com progênie e n é o número de observações.

As estimativas de covariâncias foram obtidas por meio do programa WOMBAT (MEYER, 2006) que utiliza a Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

Comparações entre os modelos para determinar o melhor, quanto ao ajuste da trajetória média fixa (linear ou quadrática) com diferentes classes de variância residual (homogênea ou heterogêneas), foram feitas pelo critério de informação bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978):

$$BIC = -2 \log L + p \log_e (N - r),$$

em que $\log L$ é o logaritmo decimal da função de verossimilhança, p refere-se ao número de parâmetros do modelo, N é o número total de observações, r é o posto da matriz de incidência para os efeitos fixos.

A partir do melhor valor de BIC (menor BIC) foi calculada a probabilidade do modelo escolhido ser o melhor ajustado (BURNHAM e ANDERSON, 2004; NEATH e CAVANAUGH, 2012).

Foi utilizada, para obter a covariância genética aditiva entre o nível de lisina digestível i e j , a seguinte fórmula

$$\sigma_{a_{ij}} = Z_i G Z'_j,$$

em que $Z_i = [\Phi_0(i) \ \Phi_1(i)]$ e $Z_j = [\Phi_0(j) \ \Phi_1(j)]$, sendo $\phi_0(i)$ e $\phi_1(i)$ polinômios estimados ao nível de lisina i para os efeitos intercepto e linear, respectivamente.

A estimativa da herdabilidade direta foi realizada em função do nível de lisina da dieta, da seguinte maneira:

$$h_{a_i}^2 = \frac{Z_i G Z_i'}{Z_i G Z_i' + Z_i F Z_i' + \sigma_{e_j}^2},$$

em que $h_{a_i}^2$ é a herdabilidade direta, i representa o nível de lisina da dieta e j refere-se a classe residual a qual o nível faz parte.

Foram estimadas as correlações de postos de Spearman, a partir dos valores genéticos preditos nas análises uni-características, para cada par dos níveis de lisina digestível nas dietas. Para melhor avaliar as classificações dos peixes as correlações de Spearman foram obtidas para 6, 12 e 18% dos animais com maior valor genético entre os níveis alto, médio e baixo de lisina, usando o procedimento CORR, versão 9.0 (S.A.S., 2002).

O modelo de regressão aleatória e a interação genótipo x ambiente foram verificados por plotagem da norma de reação por amostragem aleatória de 25 tilápias diferentes para cada característica, de acordo com os diferentes níveis dietéticos de lisina digestível para demonstrar o padrão dos valores genéticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estatísticas descritivas

Foi utilizado para a obtenção das estimativas dos componentes de covariância e parâmetros genéticos das tilápias tailandesas o melhor modelo ajustado. Segundo os critérios do menor valor do BIC e da probabilidade de o modelo escolhido ser melhor que os demais, adotou-se trajetória média fixa com funções lineares de polinômios de Legendre para a maioria das características, com exceção de altura, comprimento de cabeça e a relação comprimento de cabeça e comprimento padrão, em que o melhor ajuste foi para o modelo com funções de polinômio de Legendre quadráticas.

O modelo que considerou variância residual homogênea apresentou melhor ajuste para a maioria das características estudadas, exceto para as relações comprimento padrão/comprimento total e largura/altura e para a largura, que obtiveram melhores ajustes para o modelo com 4 classes de variância residual (TAB. 5).

Tabela 5 - Comparação de modelos de regressões aleatórias admitindo homogeneidade (1 Classe), heterogeneidade (2 a 4 Classes) de variância residual e trajetória média fixa linear e quadrática para as características das tilápias tailandesas aos 150 dias de idade

Características	Trajetoória fixa	Variância residual	Número de Observações	Número de parâmetros	Log L	BIC	PM
Altura	Linear	1 Classe	685	7	117,34	-214,84	39,85
		2 Classe	685	8	117,53	-212,36	137,26
		3 Classe	685	9	117,53	-209,53	566,05
		4 Classes	685	10	119,42	-210,48	351,97
	Quadrático	1 Classe	685	7	121,03	-222,21	-
		2 Classes	685	8	121,32	-219,95	3,10
		3 Classes	685	9	121,36	-217,20	12,22
		4 Classes	685	10	123,53	-218,71	5,76
Relação Comprimento de Cabeça/ Comprimento Padrão	Linear	1 Classe	678	7	2035,67	-4051,53	537,00
		2 Classes	678	8	2035,92	-4049,19	1726,09
		3 Classes	678	9	2036,05	-4046,62	6255,58
		4 Classes	678	10	2037,95	-4047,59	3853,91
	Quadrático	1 Classe	678	7	2041,96	-4064,10	-
		2 Classes	678	8	2042,16	-4061,68	3,36
		3 Classes	678	9	2042,86	-4060,24	6,87
		4 Classes	678	10	2044,88	-4061,46	3,75
	Linear	1 Classe	683	7	174,83	-329,82	4251,38

Comprimento de Cabeça		2 Classes	683	8	174,84	-327,01	17347,62	
		3 Classes	683	9	176,47	-327,43	14050,60	
		4 Classes	683	10	176,73	-325,12	44561,75	
	Quadrático	1 Classe	683	7	183,19	-346,53	-	
		2 Classes	683	8	183,19	-343,71	4,11	
		3 Classes	683	9	183,45	-341,38	13,15	
		4 Classes	683	10	183,68	-339,01	42,98	
Comprimento padrão	Linear	1 Classe	677	7	-300,88	621,56	-	
		2 Classes	677	8	-300,88	624,39	4,12	
		3 Classes	677	9	-300,87	627,21	16,84	
		4 Classes	677	10	-298,77	625,84	8,46	
	Quadrático	1 Classe	677	7	-303,52	626,85	14,06	
		2 Classes	677	8	-303,52	629,68	57,88	
		3 Classes	677	9	-303,51	632,50	237,36	
		4 Classes	677	10	-301,36	631,02	112,83	
	Relação Comprimento Padrão/ Comprimento total	Linear	1 Classe	677	7	2163,63	-4307,44	1,89
			2 Classes	677	8	2164,00	-4305,35	5,41
3 Classes			677	9	2164,40	-4303,32	14,92	
4 Classes			677	10	2168,51	-4308,72	-	
Quadrático		1 Classe	677	7	2158,86	-4297,91	222,99	
		2 Classes	677	8	2159,22	-4295,80	639,96	
		3 Classes	677	9	2159,98	-4294,48	1234,85	
		4 Classes	677	10	2163,92	-4299,52	99,38	
GPD		Linear	1 Classe	686	7	298,14	-576,43	-
			2 Classes	686	8	298,19	-573,70	3,92
	3 Classes		686	9	298,19	-570,86	16,19	
	4 Classes		686	10	301,14	-573,91	3,53	
	Quadrático	1 Classe	686	7	293,94	-568,02	67,09	
		2 Classes	686	8	293,98	-565,28	263,79	
		3 Classes	686	9	293,98	-562,44	1089,34	
		4 Classes	686	10	296,91	-565,45	241,89	
Largura	Linear	1 Classe	685	7	585,02	-1150,19	1187,33	
		2 Classes	685	8	589,24	-1155,79	72,26	
		3 Classes	685	9	589,77	-1154,02	174,89	
		4 Classes	685	10	596,36	-1164,35	-	
	Quadrático	1 Classe	685	7	582,18	-1144,51	20383,16	
		2 Classes	685	8	586,28	-1149,87	1393,13	
		3 Classes	685	9	586,97	-1148,41	2893,30	
		4 Classes	685	10	593,86	-1159,36	12,16	
GPT	Linear	1 Classe	683	7	-2251,17	4522,19	-	
		2 Classes	683	8	-2250,12	4522,92	1,44	
		3 Classes	683	9	-2248,71	4522,94	1,45	
		4 Classes	683	10	-2248,11	4524,56	3,28	
	Quadrático	1 Classe	683	7	-2251,56	4522,96	1,47	
		2 Classes	683	8	-2250,52	4523,71	2,14	

Relação Largura/Altura		3 Classes	683	9	-2249,09	4523,69	2,12
		4 Classes	683	10	-2248,48	4525,30	4,74
	Linear	1 Classe	685	7	1603,10	-3186,35	213942,84
		2 Classes	685	8	1610,25	-3197,81	694,58
		3 Classes	685	9	1611,76	-3197,99	635,34
		4 Classes	685	10	1619,63	-3210,90	-
	Quadrático	1 Classe	685	7	1599,48	-3179,12	7972145,0
		2 Classes	685	8	1606,58	-3190,48	27209,17
		3 Classes	685	9	1607,58	-3189,63	41529,31
		4 Classes	685	10	1615,25	-3202,15	79,44
Peso 150d	Linear	1 Classe	686	7	-2343,82	4707,50	-
		2 classes	686	8	-2343,65	4709,99	3.47
		3 classes	686	9	-2343,64	4712,81	14.19
		4 Classes	686	10	-2341,35	4711,06	5.93
	Quadrático	1 Classe	686	7	-2344,06	4707,98	1.27
		2 Classes	686	8	-2343,89	4710,47	4.42
		3 Classes	686	9	-2343,88	4713,28	18.00
		4 Classes	686	10	-2341,60	4711,56	7.59
	Linear	1 Classe	685	7	-408,27	836,40	-
		2 Classes	685	8	-408,19	839,06	3,78
		3 Classes	685	9	-408,17	841,87	15,42
		4 Classes	685	10	-406,49	841,34	11,83
Comprimento total	Quadrático	1 Classe	685	7	-408,78	837,41	1,66
		2 Classes	685	8	-408,71	840,10	6,37
		3 Classes	685	9	-408,67	842,87	25,45
		4 Classes	685	10	-406,88	842,12	17,47

* Log L: Logaritmo decimal da função de máxima verossimilhança; BIC: critério de informação Bayesiano; PM- Probabilidade do modelo.

Ao trabalharem com tilápias, Turra et al. (2012) verificaram que modelos que consideravam heterogeneidade de variância residual melhor se ajustaram aos dados e, assim como neste trabalho, Conti et al. (2014) adotaram diferentes modelos quanto as classes de variância residual para as características avaliadas, sendo homogênea para ganho de peso, altura e comprimento de cabeça e heterogênea para largura, peso e comprimento do corpo. Essa variação pode ser atribuída a diversos fatores que não foram incorporados ao modelo e são redirecionados para o resíduo, sendo, portanto, importante modelá-lo (CAVALCANTE-NETO et al., 2011).

3.2 Estimativas de parâmetros genéticos

Na regressão linear em que o valor genético é predito em função do gradiente nutricional, as covariâncias dos coeficientes da regressão se referem ao desempenho genético das tilápias para as características estudadas na norma de reação. O parâmetro b_1 , representa a inclinação da norma de reação que mede o comportamento do valor genético da característica de acordo com o nível ambiental. Assim, os diferentes valores de b_1 se traduzem em diferentes sensibilidades ou capacidades de resposta nos diferentes níveis dietético de lisina digestível (MIRANDA et al., 2016) e podem resultar na modificação da ordem de classificação dos valores genéticos das características à mudança ambiental e, conseqüentemente, permitir avaliar a existência da interação genótipo x ambiente.

De maneira geral, para o efeito genético aditivo, a variância estimada para o coeficiente de regressão aleatória do intercepto (b_0) foi maior do que a estimada para o coeficiente de regressão aleatória linear (b_1), exceto para CP/CT e L/A (TAB. 6).

Tabela 6 - Componentes de variância, covariância e correlações atribuídos aos coeficientes de regressão aleatórias estimadas para o efeito genético aditivo direto e efeito de família em função do nível de lisina dietético para características de tilápias tailandesas aos 150 dias de idade

Característica	Efeito Genético Aditivo			
	$\sigma_{b_0}^2$	σ_{b_0,b_1}	$\sigma_{b_1}^2$	r_{b_0,b_1}
Altura	0,2079	0,0289	0,0062	0,804
Comprimento de Cabeça	0,1312	0,0076	0,0009	0,683
Comprimento Padrão	1,6695	-0,0949	0,0059	-0,957
Comprimento Total	2,1069	-0,0887	0,0045	-0,913
Largura	0,0697	0,0007	0,0000	0,395
Peso 150dias	570,23	-33,718	2,1526	-0,962
GPT	534,71	-33,71	2,32091	-0,96
GPD	0,2705	-0,0141	0,0008	-0,962
CC/CP	0,0001	0,0000	0,0000	0,696
CP/CT	0,0000	0,0000	0,0000	0,651
L/A	0,0001	0,0001	0,0003	0,863

	Efeito de Família			
	$\sigma_{b_0}^2$	σ_{b_0,b_1}	$\sigma_{b_1}^2$	r_{b_0,b_1}
Altura	0,021680	-0,005661	0,001585	-0,9656
Comprimento de Cabeça	0,005561	-0,000550	0,000067	-0,9022
Comprimento Padrão	0,011598	-0,001690	0,000317	-0,8808
Comprimento Total	0,052099	-0,003217	0,000258	-0,8768
Largura	0,007863	-0,000108	0,000003	-0,7423
Peso 150dias	1,940400	0,085586	0,016079	0,4845
GPT	1,72441	0,0218168	0,0108697	0,1594
GPD	0,001714	0,000000	0,000005	0,0000
CC/CP	0,000002	0,000000	0,000001	0,0001
CP/CT	0,000001	0,000000	0,000001	0,0010
L/A	0,000001	0,000000	0,000001	0,0000

*Componentes de variância ($\sigma_{b_0}^2$ e $\sigma_{b_1}^2$), covariância (σ_{b_0,b_1}) e correlação (r_{b_0,b_1}) atribuídos aos intercepto (b_0) e coeficiente linear (b_1) do efeito genético aditivo direto e de família; CC/CP - relação entre comprimento de cabeça e comprimento padrão; L/A - relação entre largura e altura; CP/CT - relação entre comprimento padrão e comprimento total; GPT - ganho de peso total; GPD - ganho de peso diário.

A correlação entre o b_0 e b_1 da equação da norma de reação está relacionada ao comportamento do genótipo com a mudança do ambiente (MOTA et al., 2015). Para o efeito genético aditivo direto as correlações observadas foram positivas para a maioria das características, com exceção das características de peso, GPT, GPD, comprimento total e padrão do corpo onde se observou valores negativos para a correlação entre os coeficientes da regressão. Essas correlações negativas podem indicar que os valores genéticos respondem de

forma negativa ao aumento do nível aminoacídico da dieta (VELOSO et al., 2015), ou seja, os valores genéticos das tilápias podem responder de forma negativa ao aumento do nível de lisina digestível da dieta.

Correlações positivas indicam que os maiores valores do intercepto estão associados aos maiores valores do coeficiente b_1 e, portanto, maior será a inclinação da reta que descreve a sensibilidade dos animais às mudanças ambientais (FELIPE et al., 2012; VELOSO et al., 2015; MIRANDA et al., 2016), ou seja, aos maiores valores genéticos de uma característica em determinado nível de aminoácido estão associados aos maiores valores dessa característica avaliada em outro nível deste aminoácido na dieta.

Observa-se que os coeficientes de regressão aleatória do intercepto e linear estimados para o efeito genético aditivo apresentaram correlação que variam de moderada a alta para a maioria das características, o que pode indicar que os animais de maior valor genético no ambiente médio foram também os que mais responderam à melhora no ambiente para essas características (CONTI et al., 2014; VELOSO et al., 2015). Segundo Veloso et al. (2015), altas correlações indicam que a ordem de classificação dos valores genéticos preditos pouco se altera nos diferentes níveis de lisina digestível na dieta e evidenciam que os melhores animais, ao longo do gradiente nutricional, tendem a mostrar aumento do valor genético em ambientes favoráveis. Consequentemente, para as características que apresentaram valores de correlação entre b_0 e b_1 altos e positivos os maiores valores genéticos em determinado nível de aminoácidos também o seriam quando testados em outros níveis do ambiente (VELOSO et al., 2015), respeitando-se os limites dos níveis de aminoácidos adotados no estudo.

Segundo Su et al. (2006), correlações entre b_0 e b_1 distantes da unidade positiva podem indicar reordenamento dos valores genéticos dos animais, o que pode sugerir a existência de interação genótipo x ambiente. Nesta situação, os resultados de correlações entre os coeficientes da regressão observados para as características de comprimento total e padrão, largura, peso, GPT e GPD podem sugerir que os animais selecionados em um nível de lisina digestível não seriam os mesmos quando selecionados em outros dentro do intervalo estudado, dados as baixas magnitudes dessa correlação.

Para as características comprimento de cabeça, CC/CP, CP/CT a magnitude da correlação entre b_0 e b_1 podem sugerir que os valores genéticos preditos tendem a se alterar quando as tilápias são criadas em diferentes níveis dietéticos de lisina digestível, o que pode acarretar em reordenamento dos valores genéticos dos animais (SU et al., 2006), pois há alteração na disposição da reta traçada entre os ambientes.

Contudo desconsiderar as possíveis mudanças em níveis nutricionais significa que a possível alteração no comportamento dos vários genótipos frente aos níveis dietéticos de lisina digestível pode levar à tomada de decisões equivocadas no que se refere à escolha dos melhores animais para os mais variados ambientes de criação (MOTA et al., 2015).

As estimativas de herdabilidade (h^2) para as características estudadas (FIG. 3 e 4) apresentaram alteração em relação ao nível de lisina avaliada. Mudanças nas estimativas de h^2 em diferentes ambientes podem ocorrer devido a uma alteração no componente de variância genética aditiva ou devido a um conjunto de genes diferentes agindo nos diferentes ambientes (FALCONER, 1987).

Figura 3 - Estimativas de herdabilidade e variância genética aditiva de características de desempenho e relações das medidas corporais de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa aos 150 dias de idade, de acordo com o nível de lisina a dieta

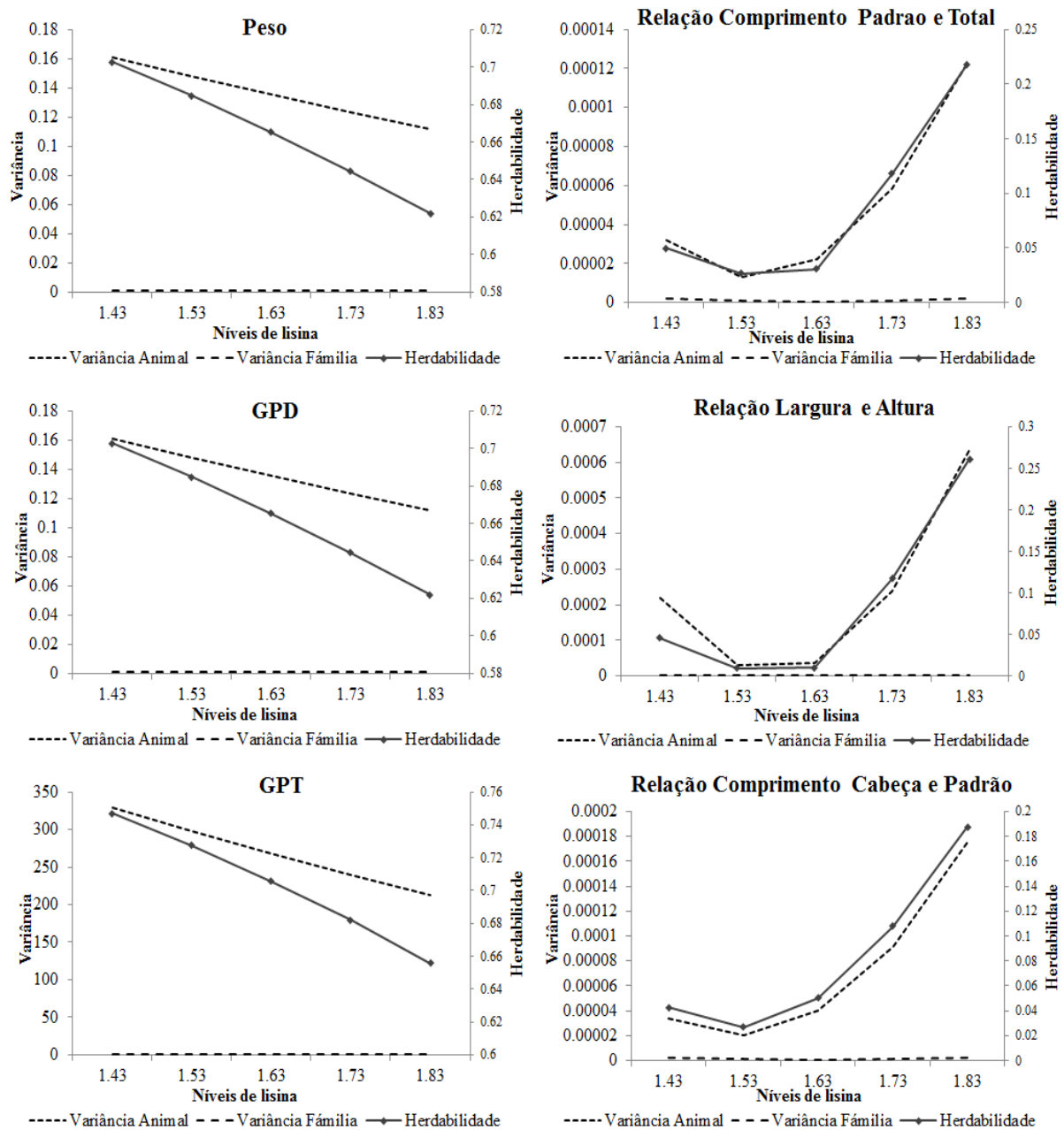
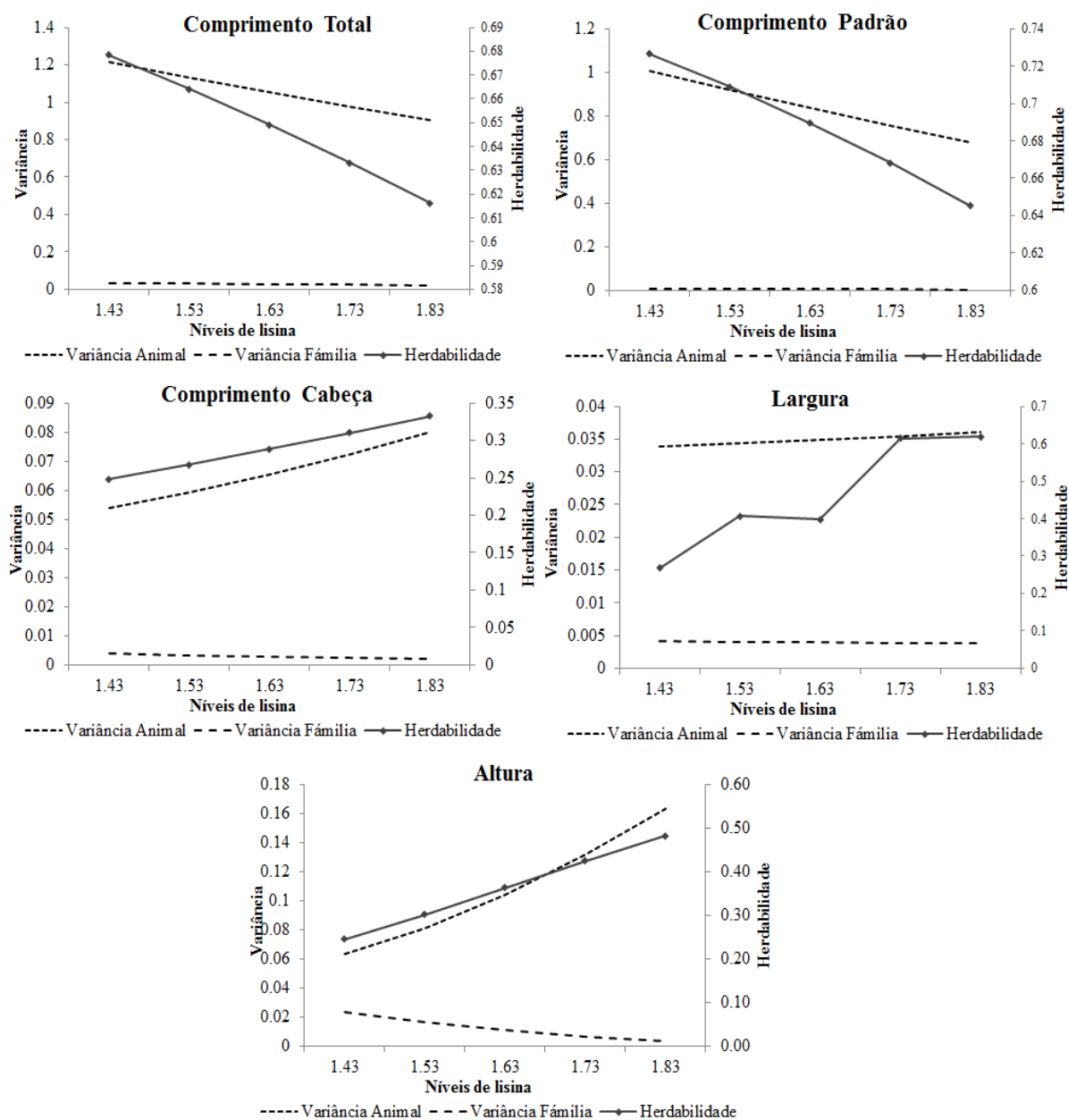


Figura 4 - Estimativas de herdabilidade e variância genética aditiva de medidas morfométricas de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa aos 150 dias de idade, de acordo com o nível de lisina a dieta



O aumento da variância genética aditiva de acordo com o aumento dos níveis nutricionais ocasionou o aumento da herdabilidade para quase todas as características das tilápias tailandesas, exceto para comprimentos padrão e total, peso, GPT e GPD, que a h^2 e a variância genética aditiva reduziram progressivamente com o aumento do nível dietético de lisina digestível, o que indica que a seleção das tilápias seria mais indicada quando praticada em níveis mais baixos de lisina digestível da dieta.

A estimativa da herdabilidade para relações morfométricas apresentou redução entre o nível de lisina de 1,43 a 1,53%, entretanto quando essa relação aumentou de 1,63 a 1,83%, ocorreram maiores estimativas da herdabilidade, o que sugere que para relações morfométricas nesses níveis de lisina digestível os maiores ganhos genéticos podem ser alcançados. A redução no componente de variância genética aditiva, consequentemente, estimativas de h^2 , em ambiente menos favoráveis é um resultado da baixa expressão de genes que afetam a característica (FALCONER, 1987).

A variância atribuída ao efeito de família apresentou menor valor em relação a atribuída ao efeito genético aditivo direto. Maiores variâncias genéticas aditivas ao longo do gradiente ambiental podem indicar maior contribuição do valor genético na expressão dos valores fenotípicos dos peixes, o que seria favorável para seleção (MOTA et al., 2015).

A variância do efeito da família aumentou ao longo dos níveis de lisina digestível a uma taxa moderadamente crescente para as características de peso e ganho de peso. Enquanto que para as demais características, diminuiu ligeiramente com o aumento do nível de lisina no gradiente ambiental.

A variância do efeito de família expressa como proporção da variância fenotípica, a partir de modelo de regressões aleatórias, apresentou valores menores que 10%, ao longo de todo o gradiente ambiental, ou nível de lisina digestível. O fato de os membros de cada família serem distribuídos aleatoriamente nos diferentes gradientes nutricionais, possivelmente, contribuiu para a redução deste efeito de família, entre outras causas. No entanto, explicar esse efeito no modelo estatístico, é necessário para se ter estimativa imparcial dos parâmetros e aumento da precisão da seleção (NGUYEN et al., 2007), uma vez que as diferenças atribuídas ao período larval podem influenciar o desempenho dos peixes (YOSHIDA et al., 2013a), ou seja, o período em que as famílias foram criadas separadamente pode contribuir para diferenças fenotípicas entre as famílias.

Charo-Karisa et al. (2007) observaram valores do efeito de família entre 0,08 e 0,11. Yoshida et al. (2013a, 2013b) dividiram o efeito de ambiente comum em dois componentes: ambiente comum de larvicultura e ambiente comum de alevinagem e ao somar a participação relativa dos dois ambientes comuns, os valores foram próximos ao observado no presente trabalho.

Os valores estimados de herdabilidade para quase todas as características variaram de moderados a altos ($> 0,24$ a $0,73$), com exceção de relação entre Largura e Altura, relação entre comprimento padrão e total, relação entre comprimento cabeça e padrão que apresentaram valores de h^2 de moderados a baixos ($< 0,25$). É importante ressaltar que para as características

relacionadas ao peso aos 150 dias de idade as estimativas de h^2 das tilápias apresentaram valores maiores que 0,50 ao logo do gradiente ambiental. Os valores estimados para herdabilidade no presente estudo foram maiores em comparação aos estimados por Yoshida et al. (2013a) e Kunita et al. (2013) para as características morfométricas e de desempenho.

Valores de h^2 mais próximos ao observado no presente trabalho foram encontrados por Charo-Karisa et al. (2007) com estimativa de h^2 para peso à despesca e Turra et al. (2016) com valores de h^2 estimados para peso aos 168 dias de idade em diferentes ambientes avaliados.

Os resultados obtidos neste estudo indicaram diferenças nos parâmetros genéticos em relação às modificações do gradiente ambiental. As diferentes respostas desses parâmetros podem indicar que as predições de valores genéticos dos peixes que se alimentam com determinado nível de lisina digestível podem não ser válidas para avaliações genéticas realizadas em outros níveis de lisina da dieta.

3.3 Estudo de interações genótipo x ambiente por meio de correlações

Para quantificar a interação genótipo x ambiente entre os níveis nutricionais, a correlação genética foi estimada para os valores genéticos das tilápias em cada uma das características avaliadas entre os níveis dietéticos de lisina digestível. Segundo Falconer (1987), valores da correlação genética menores que 1 (um), independente da magnitude, indicam a existência da interação genótipo x ambiente. Quanto maior a distância da estimativa da correlação em relação à unidade, mais intenso é o reordenamento de valores genéticos, o que sugere diferenças na expressão de genes aditivos responsáveis pelo fenótipo nesses ambientes (ROBERTSON, 1959).

Assim, quanto menor o valor da estimativa da correlação entre ambientes avaliados, maior será reordenamento de valores genéticos (MOTA et al., 2015) das tilápias e, conseqüentemente, maior será a significância da IGA. É importante salientar que não existe associação relevante para valores de correlação muito próximos de zero e, neste caso, a IGA pode não existir.

As relações morfométricas comprimento padrão/comprimento total, cabeça/comprimento padrão e largura/altura apresentaram correlações genéticas com valores abaixo de 0,80 (FIG. 6) indicando a presença de IGA (ROBERTSON, 1959; FARIA et al., 2017) nos diferentes níveis dietéticos de lisina digestível. Entretanto, para as demais características avaliadas, as correlações genéticas foram elevadas, maiores que 0,80 (FIG. 5 e

6). Resultados similares foram observados para correlações do efeito de família com valores variando de - 0,47 a 0,99 para as características entre os níveis de lisina digestível.

Figura 5 – Correlações genéticas para as características de desempenho de tilápias do Nilo da variedade tailandesa aos 150 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina

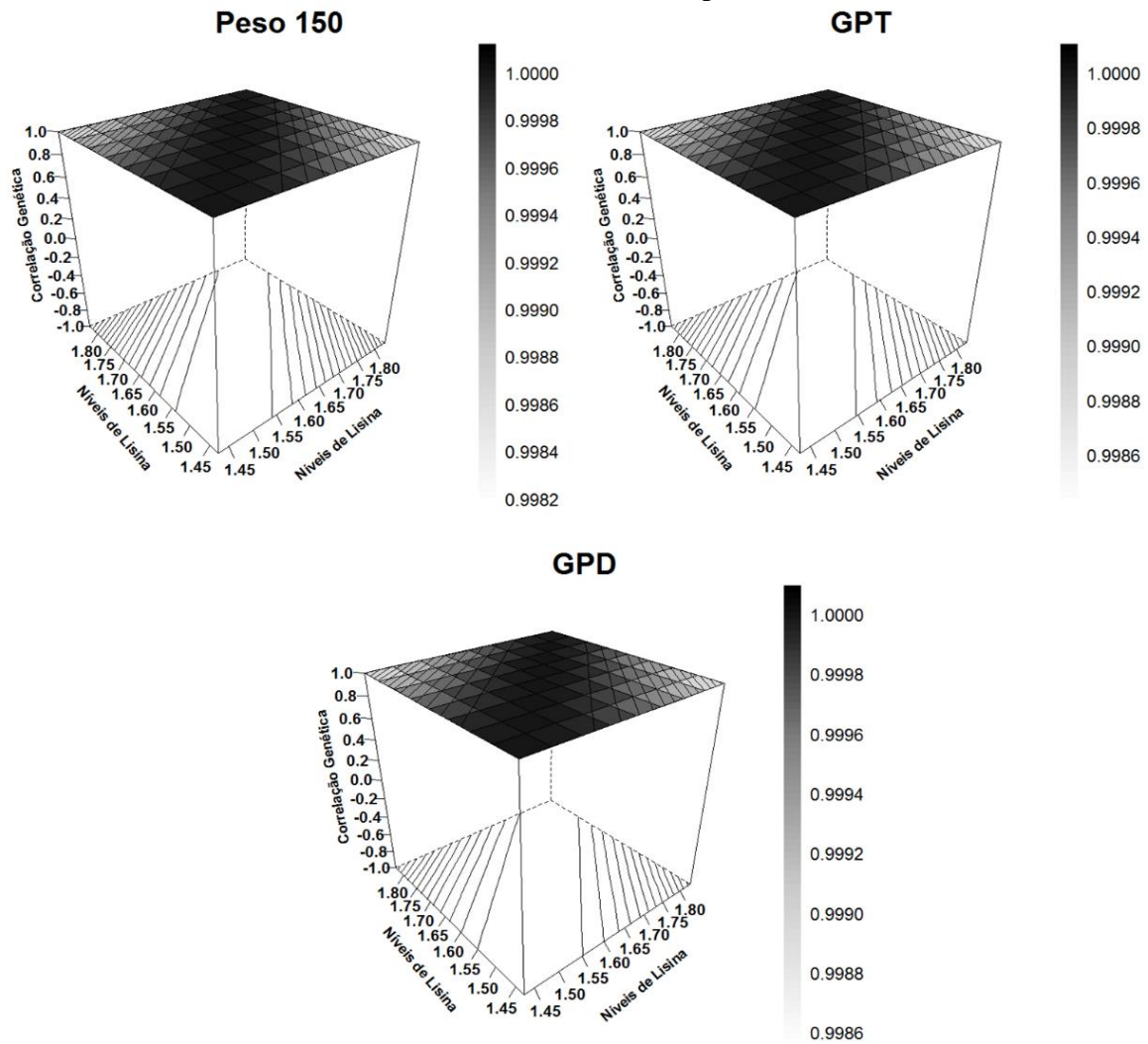
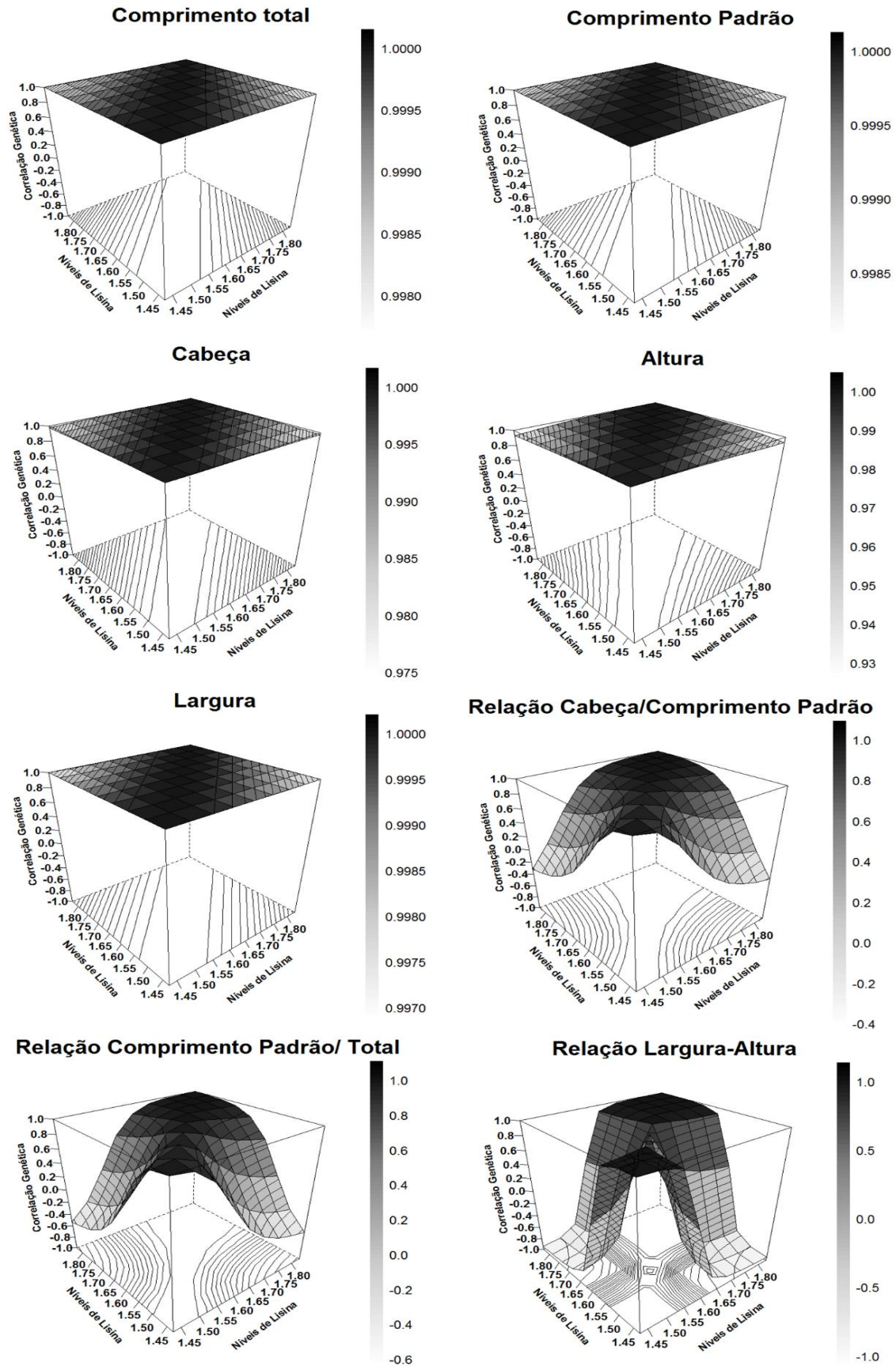


Figura 6 – Correlações genéticas para as características de medidas corporais de tilápias do Nilo da variedade tailandesa aos 150 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina



Quando a estimativa da correlação entre os valores genéticos preditos nos diferentes ambientes nutricionais é muito próxima da unidade positiva, maior será o grau de concordância entre os valores genéticos das características das tilápias nos ambientes (TURRA et al., 2012; YOSHIDA et al., 2013a; CONTI et al., 2014; VELOSO et al., 2015; MIRANDA et al., 2016), indicando que a seleção para a característica pode ser realizada em qualquer um dos níveis de lisina.

Deste modo, correlações maiores que 0,8 apesar de descreverem alterações nas estimativas dos parâmetros genéticos, podem indicar que a interação genótipo-ambiente não é biologicamente importante (ROBERTSON, 1959).

A correlação de Spearman foi estimada para indicar o grau de relacionamento entre as ordenações dos valores genéticos nos diferentes ambientes, o que pode sugerir, em função da magnitude destas correlações, a existência ou não da interação genótipo x ambiente.

Para os valores genéticos dos peixes entre os níveis de lisina digestível para a seleção de 100% dos animais avaliados, as correlações de Spearman apresentaram estimativas, em sua maioria, positivas e maiores que 0,90, o que mostra forte associação de ranking e relacionamento linear positivo entre as características. Os valores da correlação observados entre os níveis de lisina digestível (1,28, 1,38, 1,48, 1,58, 1,68%) foram de 0,999 para GPT, peso e comprimento de cabeça, oscilaram entre 0,996 a 0,999 para altura e entre 0,999 a 1,0 para comprimento total, comprimento padrão, GPD e largura e, para as relações morfométricas entre comprimento de cabeça e padrão, entre largura e altura e entre comprimento padrão e total, as correlações de Spearman variaram de 0,353 a 0,996, -0,487 a 0,994 e -0,993 a 0,993, respectivamente.

As estimativas de correlação de Spearman para seleção de 100% dos peixes avaliados demonstraram resultados similares aos da correlação genética. A correlação de Spearman com alta magnitude pode indicar que a maioria dos peixes selecionados em um nível de lisina digestível seria também selecionada em outros níveis desse aminoácido na dieta. Por outro lado, correlações menores que 0,7 podem resultar em alterações no ranking dos animais (CREWS JR. e FRANKE, 1998) e indicar que a melhor tailandesa em um dos níveis dietéticos de lisina pode não ser a melhor em outro nível avaliado.

Entretanto, mesmo que os coeficientes de correlações avaliados em diferentes ambientes apresentem valores maiores que 0,80, podem indicar que no valor genético dos animais apresentam alteração em diferentes níveis dietéticos de lisina digestível (FALCONER, 1987).

Como forma de melhor avaliar o efeito da IGA na seleção sobre os valores genéticos nos diferentes ambientes foram estimadas correlações de Spearman para 6, 12 e 18% dos peixes classificados com os maiores valores genéticos nos níveis dietéticos baixos (1,43%), médio (1,63%) e alto (1,83%) de lisina digestível.

As correlações de Spearman entre as classificações (rank) das tilápias com base nos valores genéticos preditos nos diferentes níveis de lisina digestível, considerando as três intensidades de seleção (6, 12 e 18%) entre os ambientes baixo, médio e alto apresentaram valores com magnitudes maiores que 0,90 (TAB. 7).

Resultado este que corrobora as correlações genéticas e de Sperman para a seleção de 100% dos animais avaliados. A alta correlação genética e a pequena alteração no ranking dos animais (YOSHIDA et al., 2013a) evidenciam que a seleção das tilápias para essas características poderá ser realizada em qualquer nível de lisina digestível. Embora, as altas correlações sugiram que os valores genéticos das tilápias selecionadas em um nível nutricional apresentem baixo reordenamento, as tilápias selecionadas entre os níveis podem não ser as mesmas. O valor genético das tilápias podem apresentar pequenas alterações, pois as correlações foram significativamente diferentes de 1 (FALCONER, 1987; YOSHIDA et al., 2013a).

Para as relações morfométricas CP/CT e L/A foram observadas correlações de Spearman altas entre o nível de lisina digestível médio e alto, mas os animais selecionados não foram necessariamente os mesmos (de 80 a 97%) entre esses níveis, o que pode indicar interação genótipo \times ambiente devido a alteração da classificação dos animais. Entretanto, grande parte das tilápias selecionadas (mais de 90%) com base no valor genético no ambiente médio pode ser utilizada no ambiente alto para a relação L/A.

Para o nível baixo de lisina digestível em relação aos níveis alto e médio para as relações morfométricas CP/CT e L/A não foram observadas correlações de Spearman. Isso ocorre principalmente se forem utilizadas tilápias cujas avaliações do valor genético superior no ambiente baixo mostrem baixo valor genético nos ambientes médio e alto.

Tabela 7 - Correlações de Spearman e porcentagem de animais selecionados entre os níveis alto, médio e baixo de lisina digestível nas dietas para os 6, 12 e 18 % dos maiores valores genéticos para as características de tilápias tailandesas aos 150 dias de idade

Características		B x M	Animais (%)	M x A	Animais (%)	A x B	Animais (%)
Altura	18%	0,97	96,7	0,99	96,7	0,92	93,5
	12%	0,95	96,3	0,98	96,3	0,88	92,7
	6%	0,90	92,7	0,96	92,7	0,77	85,4
Comprimento Cabeça	18%	0,99	99,2	0,99	98,4	0,98	97,6
	12%	0,99	100,0	0,99	98,8	0,96	98,8
	6%	0,98	95,1	0,98	95,1	0,93	92,7
Comprimento Padrão	18%	0,99	100,0	0,99	99,2	0,99	99,2
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	97,6	0,99	97,6
Comprimento Total	18%	0,99	99,2	0,99	100,0	0,99	99,2
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
Largura	18%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
CC/CP	18%	0,27	47,5	0,64	80,8	-0,14	36,7
	12%	0,42	44,4	0,77	72,8	0,35	28,4
	6%	0,57	46,3	0,82	68,3	-0,21	17,1
CP/CT	18%	-	0,8	0,91	88,6	-	0,8
	12%	-	1,2	0,93	84,1	-	1,2
	6%	-	0,0	0,93	90,2	-	0,0
L/ A	18%	-	0,0	0,97	91,9	-	0,0
	12%	-	0,0	0,97	95,1	-	0,0
	6%	-	0,0	0,99	97,6	-	0,0
Peso 150 dias	18%	0,99	99,2	0,99	100,0	0,99	99,2
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	0,99	97,6	0,99	100,0	0,99	97,6
GPT	18%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	12%	0,99	98,8	0,99	100,0	0,99	98,8
	6%	0,99	100,0	1	100,0	0,99	100,0
GPD	18%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	1	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0

*Níveis de lisina digestível nas dietas (%): B- baixo (1,43); M- médio (1,63); A- alto (1,83)

É importante salientar que, para os valores genéticos das tilápias nessas relações morfométricas, avaliados entre os níveis médio e alto com o nível baixo do gradiente ambiental, observa-se interação genótipo x ambiente, devido ao reordenamento da classificação dos peixes, visto que aqueles peixes selecionados no nível baixo de lisina digestível não seriam os

mesmos selecionados nos demais níveis estudados. Assim, se a IGA não for investigada mais detalhadamente pode levar à escolha inadequada de peixes, prejudicando a máxima resposta a seleção.

A relação entre as medidas morfométricas CC/CP evidenciou menores magnitudes de correlações de Spearman, o que indica que mudanças na variância genética levariam a mudanças na classificação dos peixes nos diferentes ambientes (níveis de lisina) e, consequentemente, indicam a existência de interação genótipo x ambiente. Uma vez que a fraca associação da correlação para a característica entre os diferentes ambientes pode demonstrar a hipótese de que a classificação dos valores genéticos pode não ser a mesma nos diferentes níveis de lisina digestível indicando a interação genótipo \times ambiente (PAULA et al., 2009).

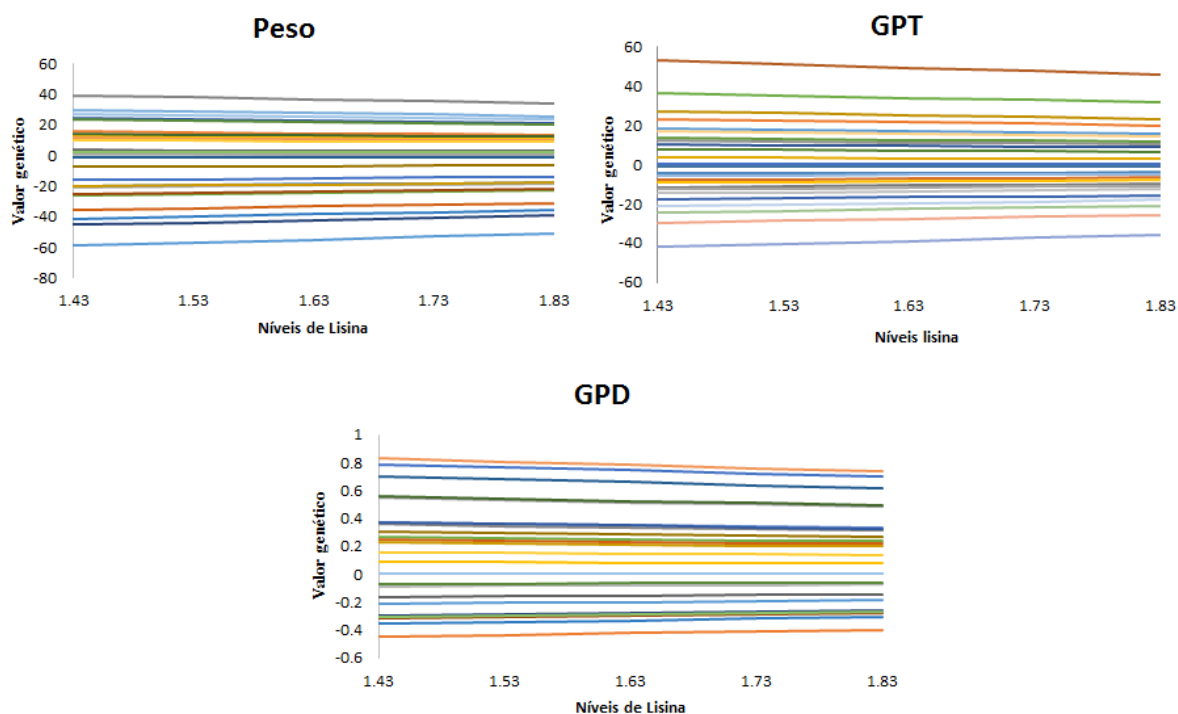
A maioria das alterações na classificação para a relação CC/CP ocorreu entre o ambiente baixo e alto do nível de lisina digestível com valores de -0,21 e 0,35, sendo que, apenas 17 a 37% dos peixes selecionados nas porcentagens adotadas no presente estudo para o nível baixo de lisina digestível seriam também selecionados para o nível alto, evidenciando a IGA. Da mesma forma, observam-se baixas correlações entre os ambientes baixo e médio com valores variando de 0,27 a 0,57, com média de 46% das tilápias selecionadas nos 6, 12 e 18% de seleção dos maiores valores genéticos. A correlação entre os ambientes médio e alto foram medianas para essa relação morfométrica, com a participação na correlação de 68 a 81% dos animais nas diferentes porcentagens de seleção. Contudo, demonstra-se a importância da influência ambiental e que as classificações dos valores genéticos dos peixes para CC/CP nos diferentes ambientes podem não ser semelhantes.

Portanto, os peixes selecionados para a relação morfométrica entre comprimento de cabeça e padrão, entre comprimento padrão e total e entre largura e altura, com base no valor genético predito, em um ambiente poderiam não apresentar os mesmos resultados quando criados em outro ambiente, o que indica que avaliações genéticas, sem se considerar a IGA, podem levar à equivocada seleção de tilápias.

3.4 Norma de reação

Foram traçadas as normas de reação de 25 tilápias amostradas aleatoriamente para cada característica estudada (FIG. 7 e 8), para facilitar a visualização da dispersão dos valores genéticos e a mudança no gradiente aminoacídico da dieta, o que pode auxiliar na visualização da presença de interação genótipo x ambiente.

Figura 7 - Normas de reação de valores genéticos das características de desempenho em função dos diferentes níveis de lisina digestível das dietas de 25 tilápias tailandesas aos 150 dias de idade

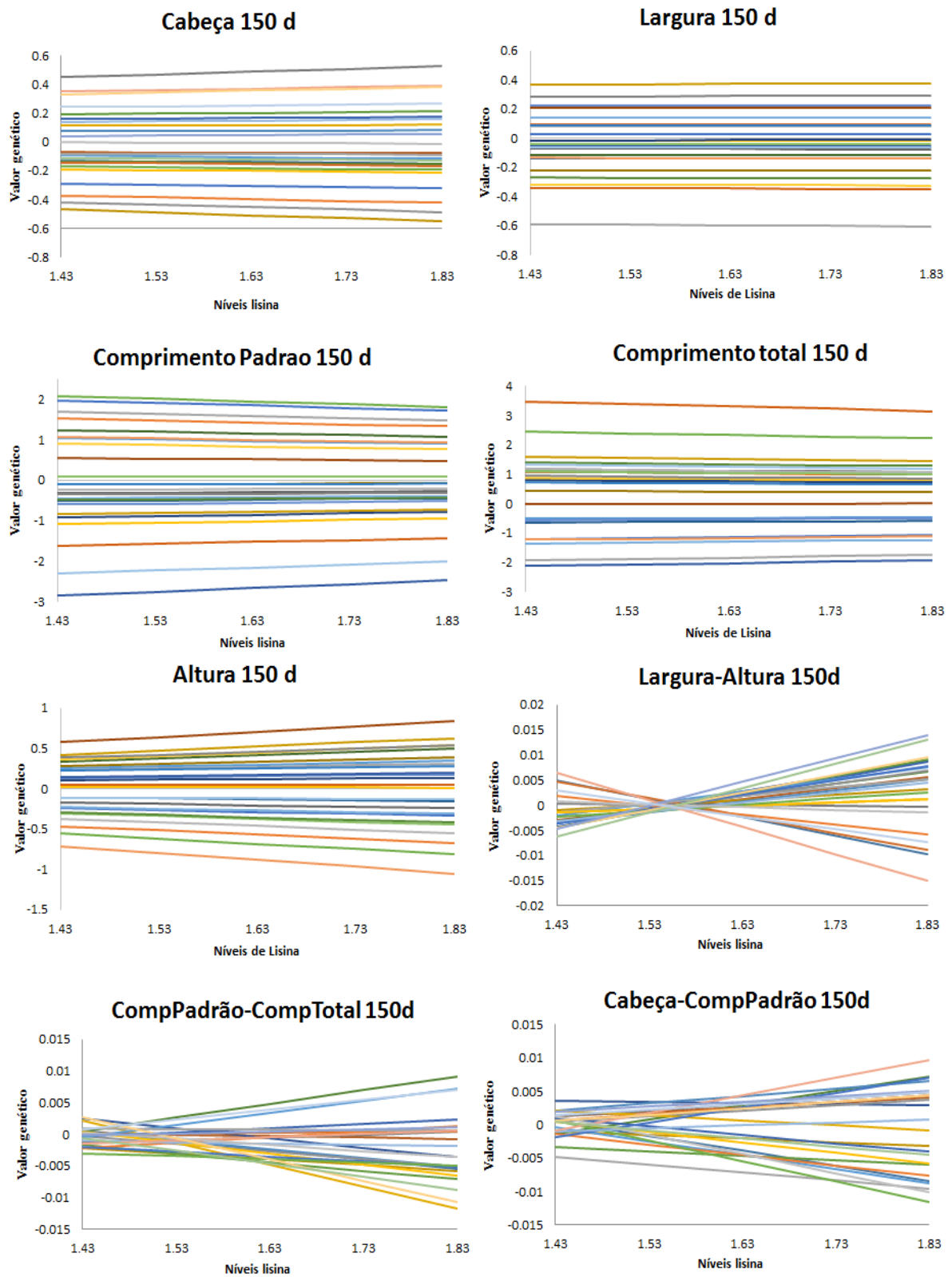


De acordo com Falconer (1990), a variação da inclinação da norma de reação está diretamente relacionada à IGA e reflete a sensibilidade ambiental dos genótipos na resposta ao ambiente.

De forma geral, para as características estudadas, notou-se que houve comportamentos distintos na sensibilidade dos valores genéticos em razão da mudança do gradiente ambiental, resultado esperado em razão das magnitudes das correlações genéticas e dos coeficientes de regressão aleatória.

As retas traçadas na norma de reação se cruzam, em sua maioria, nos níveis baixos, contudo ocorrem ao longo do gradiente ambiental, com os valores genéticos dos peixes se diferenciando ao aumento do nível de lisina digestível da dieta, ou seja, maiores níveis de lisina digestível das dietas (FIG. 8).

Figura 8 - Normas de reação de valores genéticos aditivos de 25 tilápias tailandesas aos 150 dias de idade, para as características morfológicas, em função dos diferentes níveis de lisina digestível das dietas



As normas de reação das 25 tilápias tailandesas amostradas aleatoriamente para as características comprimento de cabeça e altura indicam aumento da dispersão dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental. No entanto, salienta-se que as correlações dos níveis de lisina digestível na dieta para essas características apresentaram valores altos e, segundo o critério de Robertson (1959) a IGA pode não ser biologicamente importante, pois as correlações genéticas das características nos ambientes estão muito próximas da unidade.

Para a característica largura, as tailandesas apresentaram poucas modificações nos valores genéticos aditivos em função dos níveis de lisina digestível na dieta, resultado coerente com as correlações genéticas e de Spearman, sugerindo que houve pouca ou nenhuma interação genótipo x ambiente. Desse resultado pode-se inferir que os valores genéticos preditos para essas características das tilápias em determinado nível de lisina digestível proporcionariam valores genéticos válidos para outros níveis de lisina digestível na dieta.

Observa-se que há aumento da dispersão dos valores genéticos preditos e até mesmo alteração na ordem de classificação destes valores com a mudança do gradiente ambiental de forma mais acentuada para as relações das características morfométricas. Esse comportamento indica heterogeneidade de sensibilidades de valores genéticos aditivos à mudança do nível de lisina digestível na dieta, o que caracteriza a existência de interação genótipo x ambiente para essas características, o que já era esperado em decorrência dos valores de correlação genética e de Spearman ($<0,80$).

Apesar dos numerosos estudos sobre IGA ainda é difícil traçar uma linha geral sobre a magnitude da IGA em espécies de peixes para determinar se a criação deve ser separada em diferentes programas de seleção para os ambientes estudados (JAMES, 2009).

4 CONCLUSÃO

Modelos que consideram classes de variância residual homogênea, de forma geral foram mais adequados para avaliação da sensibilidade de valores genéticos das medidas morfométricas e pesos corporais de tilápias do Nilo tailandesas às variações nos níveis de lisina digestível das dietas.

Ao considerar o peso como único critério de seleção os menores níveis de lisina digestível nas dietas seriam mais indicados, pois os mesmos valores genéticos preditos podem ser válidos para os diferentes níveis estudados para esta característica.

Os resultados indicam a presença de interação genótipo x ambiente para as relações morfométricas, o que permite concluir que a seleção para estas características deveria ser praticada no mesmo nível de lisina digestível em que as tilápias seriam criadas.

Portanto, os benefícios da seleção especializada para o gradiente ambiental devem ser investigados mais detalhadamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURNHAM K. P.; ANDERSON D. R. Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological methods & research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.

CAVALCANTE-NETO, A.; THOLON, P.; LUI, J. F.; LARA, M. A. C.; FONSECA, C.; RIBEIRO, M. N.; SARMENTO, J. L. R. Modelos de regressão aleatória com diferentes estruturas de variância residual para descrever o tamanho da leitegada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 1043-1050, 2011.

CHARO-KARISA, H.; BOVENHUIS, H.; REZK, M. A.; PONZONI, R. W.; VAN ARENDONK, J. A. M.; KOMEN, H. Phenotypic and genetic parameters for body measurements, reproductive traits and gut length of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for growth in low-input earthen ponds. **Aquaculture**, v.273, p.15-23, 2007.

CONTI, A. C. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; MARTINS, E. N.; RIBEIRO, R. P.; BIGNARDI, A. B.; PORTO, E. P.; OLIVEIRA, S. N. Estimacão de parâmetros genéticos para peso corporal, ganho em peso e características morfométricas de tilápias do Nilo utilizando modelos de regressão aleatória. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2843-2858, 2014.

CREWS JR., D.H.; FRANKE, D.E. Heterogeneity of variances for carcass traits by percentage Brahman inheritance. **Journal of Animal Science**, v.76, p.1803-1809, 1998.

DIODATTI, F. C. **Medidas morfométricas no peso e rendimento de componentes corporais de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2006. 54p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2006.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. London: Longman. 1996.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Editora UFV, Viçosa, 1987. 279p.

FALCONER, D. S. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. **Genetical Research**, v.56, p.57-70, 1990.

FARIA, G. Q.; BONAFÉ, C. M.; SOUZA, K. A. R.; SILVA, M. A.; COSTA, L. S.; LIMA, H. J. D.; CAMPOS, F. G.; SILVA, R. B.; SILVA, A. A.; TAROCÔ, G.; ROCHA, G. M. F.; MIRANDA, J. A. Estimação de valores genéticos para codornas europeias em função dos níveis da relação treonina: lisina da dieta: do nascimento aos 21 dias de idade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n.1, p. 214-224, 2017.

FELIPE, V. P. S.; SILVA, M. A.; WENCESLAU, R. R.; VALENTE, B. D.; SANTOS, G. G.; FREITAS, L. S.; CORRÊA, G. S. S.; CORRÊA, A. B. Utilização de modelos de norma de reação com variância residual heterogênea para estudo de valores genéticos de peso de codornas de corte em função de níveis de proteína bruta na dieta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, n. 4, p. 991-1000, 2012.

FURUYA, W. M.; MICHELATO, M.; GRACIANO, T. S.; VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; FURUYA, V. R. B.; DE MOURA, L. B. Exigência de lisina digestível para a tilápia-do-Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina: lisina. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34 n. 4, p. 1945-1954. 2013.

JAMES, John W. Genotype by environment interaction in farm animals. **In: Adaptation and Fitness in Animal Populations**. Springer Netherlands, 2009. p. 151-167.

KHAW, H. L.; PONZONI, R. W.; HAMZAH, A.; ABU-BAKAR, K. R.; BIJMA, P. Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 326, n.329, p. 53–60, 2012.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí, 2000. 289p.

KUNITA, N. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; OLIVEIRA, S. N.; YOSHIDA, G. M.; RIZZATO, G. S.; RESENDE, E. K.; RIBEIRO, R. P. Avaliação genética de características morfométricas em tilápias do Nilo cultivadas. **Archivos de Zootecnia**, v.62, p.555-566, 2013.

MEYER K. (2006) **Wombat: A Program for Mixed Model Analyses by Restricted Maximum Likelihood (REML)**. University of New England, Armidale, NSW, Australia.

MIRANDA, J. A.; PIRES, A. V.; ABREU, L. R. A.; MOTA, L. F. M.; SILVA, M. A.; BONAFÉ, C. M.; LIMA, H.J.D.; MARTINS, P. G. M. A. Sensitivity of breeding values for carcass traits of meat-type quail to changes in dietary (methionine+ cystine): lysine ratio using reaction norm models. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 133, n. 6, p. 463-475, 2016.

MOTA, L. F.; ABREU, L. R.; SILVA, M. A.; PIRES, A. V.; LIMA, H. J.; BONAFÉ, C. M.; COSTA, L. S.; SOUZA, K. A.R.; MARTINS, P. G. Genotype× dietary (methionine+ cystine):

Lysine ratio interaction for body weight of meat-type quails using reaction norm models. **Livestock Science**, v. 182, p. 137-144, 2015.

MOURA, G. S.; OLIVEIRA, M. G. A.; LANNA, E. A. T. Atividade de tripsina no quimo de tilápia-tailandesa submetida a diferentes temperaturas da água. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.11, p.2086-2090, 2009.

NEATH A. A.; CAVANAUGH, J. E. The Bayesian information criterion: background, derivation, and applications. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 4, n. 2, p. 199-203, 2012.

NGUYEN, N.H., KHAW, H.L., PONZONI, R.W., HAMZAH, A., KAMARUZZAMAN, N. Can sexual dimorphism and body shape be altered in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by genetic means?. **Aquaculture**, v. 272, p. S38-S46, 2007.

PAULA, M. C.; MARTINS, E. N.; SILVA, L. O. C. Interação genótipo× ambiente para produção de leite de bovinos da raça Holandesa entre bacias leiteiras no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 467-473, 2009

RAMPE, M. C.C.; PACHECO, M. L.; VARGAS JÚNIOR, J. G.; GIANNOTTI, J. D. G.; DEMUNER, L. F.; MARIN, J. F. V. Adição de lisina digestível em rações experimentais para juvenis de tilápia-do-nilo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 5, p. 1557-1566, 2014.

ROBERTSON, A. The sampling variance of genetic correlation coefficient. **Biometrich**, v.15, n.3, p.469-485, 1959.

ROMANA-EGUIA, M. R. R.; DOYLEB, R. W. Genotype-environment interaction in the response of three strains of Nile tilapia to poor nutrition. **Aquaculture**, v. 108, p. 1-12, 1992.

RUTTEN, M. J. M.; BOVENHUI, H.; KOMEN, H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**. v.231, p.113–122, 2004.

RUTTEN, M. J. M.; KOMEN, H.; BOVENHUIS, H. Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. **Aquaculture**. v. 246, p. 101–113, 2005.

S.A.S. **STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM**. User's guide: Statistics. Version 9.0, NC; SAS Institute, 2002.

SANTOS, V. B.; FREITAS, R. T. F.; LOGATO, P. V. R.; FREATO, T. A.; ORFÃO, L. H.; MILLIOTI, L. C. Rendimento do processamento de linhagens de tilápias (*Oreochromis Niloticus*) em função do peso corporal. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 554-562, 2007.

SCHWARZ G. Estimating the dimension of a models **The annals of statistics**, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.

SU, G.; MADSEN, P.; LUND, M. S.; SORENSEN, D.; KORSGAARD, I. R.; JENSEN, J. Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. **Journal of animal science**, v. 84, n. 7, p. 1651-1657, 2006.

TURRA, E. M.; OLIVEIRA, D. A. A.; VALENTE, B. D.; TEIXEIRA, E. A.; PRADO, S. A.; MELO, D. C.; FERNANDES, A. F. A.; ALVARENGA, E. R.; SILVA, M. A. Estimation of genetic parameters for body weights of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* using random regression models. **Aquaculture**. 354–355, 31–37, 2012.

TURRA, E. M.; TORAL, F. L. B.; DE ALVARENGA, É. R.; RAIDAN, F. S. S.; DE ARAÚJO FERNANDES, A. F.; OLIVEIRA ALVES, G. F.; SALES, S. C. M.; TEIXEIRA, E. A.; MANDUCA, L. G.; BRITO, T. S.; SILVA, M. A.; SILVA JUNIOR, A. F.; ALMEIDA, L. F. C.; SANTOS, C. R.; SILVA, M. A. Genotype× environment interaction for growth traits of Nile tilapia in biofloc technology, recirculating water and Cage systems. **Aquaculture**, v. 460, p. 98-104, 2016.

VELOSO, R.C.; ABREU, L.R.A.; MOTA, L.F.M.; CASTRO, M.R.; SILVA, M.A.; PIRES, A.V.; LIMA, H.J. D.; BOARI, C.A. Reaction norm models for the study of meat quality of European quail in function of (methionine+ cysteine): lysine diet ratio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 5, p. 1438-1448, 2015.

YOSHIDA, G. M.; OLIVEIRA, C. A. L. de; OLIVEIRA, S. N. de; KUNITA, N. M.; RESENDE, E. K. de; ALEXANDRE FILHO, L.; RIBEIRO, R. P. Associação entre características de desempenho de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.8, p.816-824, 2013b.

YOSHIDA, G. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; KUNITA, N. M.; OLIVEIRA, S. N.; ALEXANDRE FILHO, L.; RESENDE, E. K.; LOPERA-BARRERO, N. M.; RIBEIRO, R. P. Resposta à seleção de características de desempenho e morfométricas de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.6, p.1815-1822, 2013a.

ARTIGO 02 - SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS DE TILÁPIAS TAILANDESAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DIETÉTICOS DE LISINA DIGESTÍVEL

RESUMO

Objetivou-se avaliar a sensibilidade dos valores genéticos aos níveis dietéticos de lisina digestível para o peso corporal, ganho de peso diário (GPD) e ganho de peso total (GPT) em tilápias do Nilo da variedade tailandesa aos 185, 220 e 255 dias de idade, por meio de modelos de norma de reação. As tilápias foram alimentadas com dietas contendo 30% de proteína bruta e 3170 de energia metabolizável (kcal/kg de dieta), com níveis crescentes de lisina digestível (1,28, 1,38, 1,48, 1,58, 1,68%). Foram testados modelos de ordens dois e três do polinômio de Legendre para trajetória média fixa, e ordem dois para efeitos genético aditivo e de família. Testaram-se modelos com variância residual homogênea (1 classe) e heterogênea (2, 3, e 4 classes). Os modelos que proporcionaram melhor ajuste na maioria das características foram os que consideraram variância residual homogênea, com exceção de GPD 255 que considerou variância residual heterogênea. Observam-se alterações nas estimativas de herdabilidade para todas as características em função da mudança do nível dietético de lisina digestível, o que pode caracterizar a presença de interação genótipo x ambiente (IGA). As maiores estimativas de herdabilidades foram observadas para as características de peso na idade de 185 e 255 dias. As correlações genéticas foram, de forma geral, altas e positivas. Os valores da correlação de posto para quase todas as características foram maiores que 0,80, com exceção de GPD 220d. As normas de reação de 25 tilápias tailandesas amostradas aleatoriamente indicaram alteração na sensibilidade dos valores genéticos de algumas características às mudanças no nível nutricional de lisina digestível. Observou-se, portanto, que as tilápias alteraram os valores genéticos ao longo dos diferentes níveis de lisina digestível da dieta, para características de desempenho, o que pode acarretar na seleção de diferentes animais nos diferentes ambientes. Assim, deve-se investigar mais detalhadamente a IGA com vistas nos benefícios da seleção especializada para o gradiente ambiental.

Palavras-chave: Componentes de variância. Interação genótipo x ambiente. Modelo de regressão aleatória. *Oreochromis niloticus*.

SENSITIVITY OF GENETIC VALUES OF CHARACTERISTICS OF THAILAND
TILAPS IN THE FUNCTION OF THE DIETARY LEVELS OF DIGESTIVE LYSINE

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the sensitivity of breeding values to dietary digestible lysine levels for body weight, daily weight gain (GDW) and total weight gain (GPT) in Nile tilapia during the finishing phase using reaction norm models. Legendre polynomial of order two and three were tested for the fixed effect, and order two for additive genetic effect and family effect. Models with homogeneous residual variance (1 class) and heterogeneous (2, 3, and 4 classes) were also tested. The models that provide the best fit for most characteristics were those considering homogeneous residual variance, except for GPD 255d that considered heterogeneous residual variance. The highest heritabilities were observed for weight traits between 185 and 255 days of age. Changes in heritability estimates were observed for all traits along the environment gradient or dietary digestible lysine level, which may characterize the presence of genotype x environment interaction (IGE). In general, genetic correlations were high and positive. The rank correlation values for almost all traits were greater than 0.80, with the exception of GPD 220d. The reaction norms of 25 randomly sampled tilapia showed change in the sensitivity of breeding values of some traits to changes in dietary lysine digestible level. In general there were observed changes in breeding values along the dietary digestible lysine level suggesting the existence of IGE for performance traits, which can lead to the selection of different animals in different environments.

Keywords: Chitralada strain. Component of variance. Genotype x environment interaction. Random regression model. *Oreochromis niloticus*.

1 INTRODUÇÃO

A maioria das espécies de tilápias do gênero *Oreochromis* spp. possui características desejáveis para a produção comercial, ou seja, fácil cultivo, carne branca com textura firme, sabor delicado, sem espinhas em ‘y’ e nem odor desagradável (SOUZA, 2002; BOSCOLO et al., 2001; FURUYA et al., 2004).

Em geral, os programas de melhoramento em tilápias utilizam para seleção o peso corporal, sendo a taxa de crescimento o principal objetivo desses programas (TURRA et al., 2010), que pode ser obtida a partir do ganho médio diário. Geralmente, estes programas, baseiam-se no uso de avaliação genética das informações individualizadas das tilápias do Nilo.

No entanto, a hipótese de que modelos de avaliação genética atribuem a cada peixe um valor genético válido para qualquer condição nutricional pode não ser verdadeira (MOTA et al., 2015). Isso porque o mesmo fenótipo expresso em dois ambientes diferentes pode ser tratado como duas características geneticamente diferentes (FALCONER, 1952). Essa diferença na sensibilidade dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental pode caracterizar a interação genótipo x ambiente.

Pelo desdobramento da variância fenotípica pode-se estimar a proporção da variação que corresponde à variância genética aditiva e as atribuídas aos fatores ambientais, bem como a da interação entre eles. Assim, quando a população selecionada é testada em vários níveis ambientais, como lisina digestível nas dietas, a proporção da variação que corresponde a interação genótipo x ambiente pode ser estimada. A lisina é um aminoácido essencial e sua suplementação está associada ao crescimento e melhor desempenho de organismos aquáticos.

Modelos que avaliam o desempenho animal de acordo com o gradiente ambiental permitem a previsão e comparação de valores genéticos (MOTA et al., 2015), além da estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos em diferentes ambientes. Em um modelo clássico de norma de reação, a expressão de um genótipo em diferentes ambientes é descrita como uma função linear (uma norma de reação) de um gradiente ou valor ambiental (SU et al., 2006), o que possibilita o estudo dos peixes pela regressão do desempenho genotípico no valor médio do desempenho observado em diferentes ambientes de produção (FALCONER e MACKAY, 1996), ou níveis de lisina digestível nas dietas.

O modelo de norma de reação pode ser utilizado para avaliar as interações genótipo x ambiente, pois lida com número muito grande de níveis ambientais com poucos parâmetros

(SU et al., 2006), discriminando objetivamente os níveis nutricionais mais favoráveis nas dietas, como por exemplo os de lisina digestível.

Esclarecer os efeitos da interação genótipo x ambiente em avaliações genéticas sobre o desempenho dos animais, torna-se importante (LOPES et al., 2008), pois podem contribuir para o aumento do desempenho esperado na resposta à seleção das tilápias e, conseqüentemente, afetar o progresso em programas de melhoramento animal. Contudo, ainda são escassos na literatura trabalhos relacionados com características de desempenho de tilápias em relação aos níveis de lisina envolvendo análise de modelos via normas de reação.

Assim, objetivou-se com este estudo avaliar a interação genótipo x níveis de lisina digestível na dieta, sobre o peso corporal, ganho de peso total e diário de tilápias do Nilo aos 185, 220 e 255 dias de idade, usando-se modelos de regressão aleatória.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Peixe e condições experimentais

O experimento foi realizado nas instalações do Laboratório de Aquicultura da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Diamantina, Minas Gerais, Brasil (43 ° 340 W E 18 ° 120 S). O protocolo de pesquisa foi revisado e aprovado pela UFVJM, Comitê de Ética em Uso de Animais (número de aprovação 057/2015).

A população de pedigree utilizada no estudo foi de tilápia do Nilo da linhagem tailandesa, descendentes de um plantel do programa de melhoramento animal de propriedade do laboratório. Vinte e nove famílias de irmãos completos provenientes do acasalamento de 21 machos e 29 fêmeas, cada um deles com um dispositivo de identificação integrado (tags). Um macho e três fêmeas foram mantidos em um tanque circular de 1 m³ de polietileno por uma semana em sistema de recirculação de água. No final deste período, os ovos presentes na boca das fêmeas foram retirados, identificados por família e transferidos para incubadoras de 2,5 litros, conectadas a aquários de 3,4 litros (FIG. 1), em sistema de recirculação de água com movimentação constantemente dos ovos.

Figura 1 – Sistema de Incubação dos ovos de tilápias do Nilo



Todas as famílias foram geradas em um período de 3 semanas (05 de novembro a 20 de novembro de 2015). Durante o período de acasalamento, os animais foram mantidos em um sistema de recirculação de água, com controle de qualidade da água para proporcionar bem-estar e promover o sucesso reprodutivo dos peixes.

Durante o período de incubação, à medida que começavam a nadar, as larvas passavam da incubadora para o aquário e foram transferidas para compartimentos individuais com volume útil de 70 litros, onde permaneceram por três semanas. Vinte e nove tanques foram usados para alocar as famílias.

Posteriormente, 80 a 100 alevinos de cada família foram cultivados em tanques de volume útil de 140 litros, mantidos em estufa por cinco semanas e então transferidos para tanques de 1m³ até atingirem peso médio de 20g. A boa qualidade da água foi mantida com auxílio de filtro mecânico e biológico e luz ultravioleta.

Os peixes com idade pós-incubação entre 87 e 102 dias foram pesados e os que apresentavam peso médio de 20g (± 5 g) foram identificados com microchips, implantados na cavidade celomática. A quantidade total de tilápias marcadas foi 700, referentes às 29 famílias de tilápias do Nilo. Em decorrência das sobrevivências desiguais, o número de peixes marcados por família foi diferente.

Os 700 peixes identificados foram distribuídos aleatoriamente entre 35 tanques circulares 1m³ dentro de uma estufa adjacente ao Laboratório, até formar um lote de vinte alevinos por tanque. A distribuição dos peixes por família de irmãos completos (progênies de um macho e uma fêmea) foi feita aleatoriamente entre os tanques.

Os peixes ao atingirem média de 94,54 ($\pm 22,76$) g de peso final com idade média de 148 (± 4) dias foram redistribuídos no sistema nos 35 tanques, em sete repetições com média de 19 (± 1) alevinos por tanque e 138 peixes por níveis de lisina digestível na dieta. Como resultado da pequena mortalidade (1,42%) o número de peixes distribuídos foi menor do que anteriormente.

2.2 Dietas experimentais

As tilápias foram alimentadas quatro vezes ao dia (duas pela manhã e duas vezes no período da tarde) a uma taxa de 5% de peso corporal até a identificação. Durante as primeiras sete semanas as tilápias receberam dieta (dieta extrusada triturada) contendo 45% de proteína bruta, nas semanas seguintes, dieta parcialmente quebrada a inteira (4 mm) contendo 32% de proteína bruta (TAB. 1).

Tabela 1 - Composição das dietas com 32 e 45% de proteína bruta para tilápias do Nilo até peso aproximado de 20g

Ingredientes	Níveis de garantia	
	45 %	32%
Umidade (g/kg)	100	100
Proteína bruta (g/kg)	450	320
Extrato etéreo (g/kg)	80	60
Matéria mineral (g/kg)	150	130
Fibra bruta (g/kg)	40	55
Cálcio (g/kg)	30	25
Fosfóro (mg/kg)	8000	6000
Vitamina C (mg/kg)	600	300
Granulometria (mm)	2,6	4

Depois de distribuídos nos 35 tanques, os peixes com idades entre 94 e 154 dias de foram alimentados com dietas extrusada com tamanho de 4 a 6 mm contendo diferentes níveis de lisina digestível: 1,43; 1,53; 1,63; 1,73; e 1,83% (TAB. 2).

Tabela 2 - Composição das dietas experimentais para tilápias do Nilo de 94 a 154 dias de idade

Ingredientes (%)	Níveis de lisina digestível (%)				
	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Farelo de soja 45%	46,69	46,69	46,69	46,69	46,69
Quirera de arroz	22,66	22,66	22,66	22,66	22,66
Milho moído	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
Glúten 60%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de soja	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Calcário calcítico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fosfato bicálcico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Inerte (Caulim)	0,617	0,777	0,892	1,025	1,128
Suplemento vit e min ⁽¹⁾	0,5	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-lisina HCl	0,052	0,181	0,310	0,439	0,568
D,L-metionina	0,306	0,362	0,426	0,487	0,548
L-treonina	0,265	0,500	0,542	0,649	0,756
L-ácido glutâmico	1,760	1,180	0,830	0,400	-
BHT	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição calculada					
Matéria seca (%)	84,58	84,92	85,23	85,54	85,83
Energia digestível (kcal/kg)	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0
Proteína bruta (%)	31,42	31,42	31,42	31,42	31,42
Proteína digestível (%)	29,09	29,09	29,09	29,09	29,09
Fibra bruta (%)	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Extrato etéreo (%)	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Fósforo total (%)	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Fósforo disponível (%)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Cálcio total (%)	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
Lisina total (%)	1,53	1,63	1,73	1,83	1,93
Lisina digestível (%)	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Met + Cist total (%)	1,26	1,31	1,37	1,44	1,50
Met + Cist digestível (%)	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10
Treonina total (%)	1,45	1,56	1,67	1,78	1,89
Treonina digestível (%)	1,10	1,18	1,25	1,33	1,41
Arginina total (%)	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
Arginina digestível (%)	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Leucina total (%)	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Leucina digestível (%)	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Triptofano total (%)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Triptofano digestível (%)	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Amido (%)	30,08	30,08	30,08	30,08	30,08
Ácido linoleico (%)	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27

⁽¹⁾Composição por quilograma do produto: 1.200.000 UI de Vitamina A₃; 200.000 UI de Vitamina D₃; 1.200 mg de Vitamina E; 2.400 mg de Vitamina K₃; 4.800 mg de Vitamina B₁; 4.800 mg de Vitamina B₂; 4.800 mg de Vitamina B₆; 4.800 mg de Vitamina B₁₂; 48 g de Vitamina C₃; 1200 mg de ácido fólico (*folicacid*); 12.000 mg de pantotenato de Ca (*panthotenicacid*); 48 mg de biotina (*biotin*); 108 g de cloreto de colina (*cholin*); 24.000 mg de niacina (*niacin*); 50.000 mg de Fe; 3.000 mg de Cu; 20.000 mg de Mn; 30.000 mg de Zn; 100 mg de I; 10 mg de Co; 100 mg de Se.

Após a redistribuição no sistema, os peixes foram alimentados com dietas de 6 a 8 mm contendo os seguintes níveis de lisina digestível: 1,28; 1,38; 1,48; 1,58; 1,68% (TAB. 3).

Tabela 3 - Dietas experimentais para tilápias do Nilo de 150 aos 255 dias de idade

Ingredientes (%)	Níveis de lisina digestível (%)				
	1,28	1,38	1,48	1,58	1,68
Farelo de soja 45%	41,24	41,24	41,24	41,24	41,24
Quirera de arroz	13,18	13,18	13,18	13,18	13,18
Milho moído	19,07	19,07	19,07	19,07	19,07
Glúten 60%	12,38	12,38	12,38	12,38	12,38
Óleo de soja	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05
Calcário calcítico	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Fosfato bicálcico	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Inerte (Caulim)	2,484	2,612	2,737	2,865	2,99
Suplemento vit e min ⁽¹⁾	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-lisina HCl	0,019	0,149	0,278	0,407	0,536
D,L-metionina	0,325	0,396	0,457	0,529	0,590
L-treonina	0,412	0,523	0,648	0,759	0,884
L-ácido glutâmico	1,760	1,320	0,880	0,440	0
Antioxidante (BHT)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição calculada					
Matéria seca (%)	84,94	85,27	85,58	85,90	86,21
Energia digestível (kcal/kg)	3170,0	3170,0	3170,0	3170,0	3170,0
Proteína bruta (%)	30,51	30,51	30,51	30,51	30,51
Proteína digestível (%)	28,49	28,49	28,49	28,49	28,49
Fibra bruta (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Extrato etéreo (%)	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84
Fósforo total (%)	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Fósforo disponível (%)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Cálcio total (%)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Lisina total (%)	1,37	1,48	1,58	1,68	1,78
Lisina digestível (%)	1,28	1,38	1,48	1,58	1,68
Met + Cist total (%)	1,27	1,34	1,40	1,47	1,53
Met + Cist digestível (%)	0,83	0,90	0,96	1,03	1,09
Treonina total (%)	1,51	1,62	1,74	1,85	1,97
Treonina digestível (%)	1,07	1,15	1,24	1,32	1,41
Arginina total (%)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Arginina digestível (%)	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Leucina total (%)	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
Leucina digestível (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Triptofano total (%)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Triptofano digestível (%)	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Amido (%)	28,71	28,71	28,71	28,71	28,71
Ácido linoleico (%)	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53

⁽¹⁾Composição por quilograma do produto: 1.200.000 UI de Vitamina A; 200.000 UI de Vitamina D₃; 1.200 mg de Vitamina E; 2.400 mg de Vitamina K₃; 4.800 mg de Vitamina B₁; 4.800 mg de Vitamina B₂; 4.800 mg de Vitamina B₆; 4.800 mg de Vitamina B₁₂; 48 g de Vitamina C; 1200 mg de ácido fólico (*folicacid*); 12.000 mg de pantotenato de Ca (*panthotenicacid*); 48 mg de biotina (*biotin*); 108 g de cloreto de colina (*cholin*); 24.000 mg de niacina (*niacin*); 50.000 mg de Fe; 3.000 mg de Cu; 20.000 mg de Mn; 30.000 mg de Zn; 100 mg de I; 10 mg de Co; 100 mg de Se.

A fim de possibilitar a ingestão máxima e diminuir a possibilidade de lixiviações, as tilápias foram alimentadas as 08, 11, 14 e 17 horas, com sucessivos repasses, até a aparente saciedade dos peixes.

2.3 Coleta de dados

A pesagem das tilápias foi realizada 45 dias após a identificação, ocasião em que tiveram o sexo determinado. A partir de então, as tilápias foram pesadas uma vez ao mês até o final do experimento, com intervalos aproximados de 35 dias entre as pesagens. Uma balança eletrônica com 0,1 g de precisão foi utilizada para a determinação dos pesos das tilápias.

Ao longo de todo o período experimental de 258 dias os parâmetros físicos e químicos da qualidade da água foram constantemente monitorados e manipulados, para permanecerem nos padrões adequados para a tilápia. Por esta razão, no sistema, o valor de oxigênio em todas as caixas ficou abaixo de 4 mg/l, o pH foi mantido entre 6,0 e 7,5, a amônia abaixo de 0,5mg/l. No entanto, em razão do local, a temperatura da água nos tanques, variou de 21 a 28 °C, com uma média baixa ($23,9 \pm 11,3$ °C), em decorrência da estação do ano (período de maio a junho).

2.4 Análise estatística

A informação obtida em cada pesagem foi padronizada para uma idade em comum para todas as tilápias, sendo que a primeira pesagem foi padronizada para 150 dias de idade e as pesagens subsequentes para 185 (aproximadamente 26 semanas), 220 (aproximadamente 31 semanas) e 255 dias de idade (aproximadamente 36 semanas). A partir das informações dos pesos padronizados foram calculados em cada idade o ganho de peso total (GPT), obtido pela diferença do ganho de peso entre as pesagens de cada tilápia e o ganho de peso diário (GPD), obtido pela divisão do ganho de peso total pelo intervalo de dias entre as pesagens.

Apesar de ser possível usar a idade como uma covariável na análise, esta não seria a melhor opção para este conjunto de dados, pois se admitiria que os peixes de todas as famílias tivessem o mesmo ganho de peso diário, portanto, em vez disto considerou-se o crescimento linear de cada peixe para o ajustamento do peso nas várias idades especificadas.

As descrições das observações nas características dos peixes, avaliadas aos 185, 220 e 255 dias de idade, bem como as médias e coeficientes de variação das características nos diferentes níveis de lisina são apresentadas na Tabela 4. Com objetivo de manter a consistência do banco de dados, foram descartadas as informações dos peixes que não apresentavam informações das características de peso e de sexo e, portanto, não considerados nas análises, o que representou menos de 10% do total dos peixes.

Tabela 4 - Descrição das observações nas características de desempenho aos 185 a 255 dias de idade de tilápia do Nilo da variedade tailandesa utilizados nas análises

Características (g)	N	PED	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV (%)
Peso 185d	660	731	54,3	291,2	164,87	41,36	25,09
GPD 185d	660	731	0,01	5,12	1,98	0,69	34,87
GPT 185d	660	731	-8,5	200,0	70,20	25,60	36,47
Peso 220d	643	714	79,8	446,4	246,68	57,29	23,23
GPD 220d	643	714	-0,75	2,65	0,85	0,37	43,49
GPT 220d	640	711	-15,8	201,8	80,78	28,44	35,21
Peso255d	625	696	92,6	532,9	311,2	72,7	23,38
GPD255d	625	696	-1,06	2,06	0,58	0,29	50,03
GPT 255d	615	686	1,04	191,53	65,5	27,5	42,01

Características (g)	Nível lisina digestível (%)									
	1,28		1,38		1,48		1,58		1,68	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Peso 185d	164,3	25,8	161,4	24,9	167,4	26,3	164,3	25,4	167,0	23,1
GPD 185d	1,98	34,9	1,87	36,8	2,07	34,5	2,01	35,0	1,95	32,8
GPT 185d	69,9	35,8	66,5	39,4	73,8	35,9	71,5	36,6	69,3	34,2
Peso 220d	247,5	24,8	244,4	19,2	248,1	25,8	238,4	23,9	255,1	21,2
GPD 220d	0,87	44,0	0,82	44,8	0,84	39,6	0,75	42,8	0,96	42,5
GPT 220d	83,0	35,4	77,7	34,7	81,0	34,4	74,1	34,4	88,0	34,9
Peso255d	302,2	25,1	302,5	20,0	314,3	24,8	315,7	23,8	320,6	22,2
GPD255d	0,49	47,7	0,51	51,3	0,59	51,0	0,69	41,4	0,60	52,2
GPT 255d	54,8	46,5	58,0	44,6	67,4	41,7	76,2	32,4	70,7	39,1

* N - Número de observações; PED - Número de peixes que tiveram relação com o arquivo pedigree; DP - Desvio padrão; CV- coeficiente de variação.

O modelo utilizado na análise foi o de regressão aleatória, sob modelo animal uni-característica, incluindo-se funções do efeito de sexo (fixo) e do valor genético aditivo e de família (aleatórios) das tilápias, além do efeito residual. O efeito fixo e a trajetória média de crescimento foram modelados como funções quadráticas e lineares de polinômios ortogonais de Legendre de segunda e terceira ordem, respectivamente, e os efeitos aleatórios modelados com polinômios ortogonais de Legendre de segunda ordem, ponderados por coeficientes de regressão. O modelo adotado na análise em notação matricial, pode ser definido como:

$$y = Xb + Z_1u + Z_2f + e ;$$

em que y é o vetor dos valores observados para peso, ganho de peso diário e ganho de peso total, b é o vetor de efeitos fixos de sexo e da trajetória média de crescimento; u e f são vetores com coeficientes de regressão relativos aos efeitos genético aditivo direto e família, respectivamente; X , Z_1 e Z_2 são matrizes de incidência nas observações dos efeitos nos vetores

b , u e f , respectivamente, contendo os polinômios de Legendre relativos a cada nível de Lisina, e e é o vetor dos resíduos.

O efeito de família refere-se ao estágio de criação das tilápias da incubação até a identificação do indivíduo. Em famílias de irmãos completos, a variância em razão dos efeitos maternos pode ser absorvida pelo efeito aleatório de família (RUTTEN, et al. 2005). Portanto, considerou-se este efeito nas análises.

Considerou-se a existências de classes de variância residual homogênea a heterogêneas, segundo diferentes níveis de lisina, sendo:

Classe 1: variância residual homogênea (1,28 a 1,68);

Classe 2: variâncias heterogêneas em duas classes diferentes (1,28 a 1,37; 1,38 a 1,68);

Classe 3: variâncias heterogêneas em três classes (1,28 a 1,37; 1,38 a 1,47; 1,48 a 1,68);

Classe 4: variâncias heterogêneas em quatro classes (1,28 a 1,37; 1,38 a 1,47; 1,48 a 1,57; 1,58 a 1,68).

Assumindo-se que:

$$E(y) = Xb;$$

$$E(Z_1u) = E(Z_2f) = E(e) = 0;$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{bo}^2 & \sigma_{bo,b1} \\ \sigma_{b1,b0} & \sigma_{b1}^2 \end{bmatrix}; e$$

$$V(y) = Z_1(A \otimes G)Z_1' + Z_2(\square_m \otimes F)Z_2' + I_n \sigma_e^2;$$

em que: σ_{bo}^2 e σ_{b1}^2 são componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão aleatória intercepto (b_0) e de regressão linear (b_1) do efeito genético aditivo direto, $\sigma_{bo,b1}$ é o componente de covariância entre os coeficientes de regressão aleatória (b_0 e b_1) do efeito genético aditivo direto, $\sigma_{e_i}^2$ é o componente de variância residual $i = 1, 2, 3$ e 4 (1- homogênea, com 1 classe de variância residual; 2, 3 e 4 –heterogênea com duas, três e quatro classes de variâncias residuais respectivamente), A é a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco de Wright, G e F são matrizes (a ordem é em função da ordem do polinômio do modelo) que contêm componentes de covariância dos coeficientes de regressão aleatórios dos efeitos genéticos aditivos e família, respectivamente, I é a matriz identidade, m é o número de fêmeas com progênes e n é o número de observações.

As estimativas de covariâncias foram obtidas por meio do programa WOMBAT (MEYER, 2006) que utiliza a Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

Para definir o modelo mais adequado, quanto as funções quadráticas e lineares de polinômios ortogonais de Legendre de segunda e terceira para o efeito fixo e segunda ordem para os aleatórios, bem como, modelos de variância residual homogênea e heterogênea foram utilizados dois critérios em cada arquivo analisado: o critério de informação bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978): $BIC = -2 \log L + p \log_e (N - r)$, em que p refere-se ao número de parâmetros do modelo, N ao número total de observações, r ao posto da matriz de incidência para os efeitos fixos e $\log L$ ao logaritmo decimal da função de verossimilhança; e a probabilidade do modelo escolhido ser melhor que os demais, calculada a partir do modelo com o menor valor de BIC (BURNHAM e ANDERSON, 2004; NEATH e CAVANAUGH, 2012).

Foi utilizada, para obter a covariância genética aditiva entre o nível de lisina digestível i e j , a seguinte fórmula

$$\sigma_{a_{ij}} = Z_i G Z_j',$$

em que $Z_i = [\phi_0(i) \quad \phi_1(i)]$ e $Z_j = [\phi_0(j) \quad \phi_1(j)]$, sendo $\phi_0(i)$ e $\phi_1(i)$ polinômios estimados ao nível de lisina i para os efeitos intercepto e linear, respectivamente.

A estimativa da herdabilidade direta foi realizada em função do nível de lisina da dieta, da seguinte maneira:

$$h_{d_i}^2 = \frac{Z_i G Z_i'}{Z_i G Z_i' + Z_i F Z_i' + \sigma_{e_j}^2},$$

em que h_d^2 é a herdabilidade direta, i representa o nível de lisina da dieta e j refere-se a classe residual a qual o nível faz parte.

Os peixes foram ordenados de acordo com o maior valor genético, predito nas análises uni-características, para cada característica nos níveis de lisina digestível dietético. Considerando-se três pressões de seleção distintas, 6, 12 e 18% dos animais, a similaridade entre a classificação dos maiores valores genéticos entre os níveis baixo (1,28%), médio (1,48%) e alto (1,68%) de lisina digestível foram avaliadas por meio das correlações de Spearman, usando o procedimento CORR (S.A.S., 2002).

O modelo de regressão aleatória e a interação genótipo x ambiente foram verificados por plotagem da norma de reação por amostragem aleatória de 25 tilápias diferentes para cada característica, de acordo com os diferentes níveis dietéticos de lisina digestível para demonstrar o padrão dos valores genéticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seleção do modelo e estimativas de parâmetros genéticos

Na seleção do modelo que melhor se ajustou às características estudadas, adotaram-se como critérios o menor valor do BIC e a probabilidade de o modelo escolhido ser melhor que os demais (TAB. 5).

Tabela 5 - Comparação de modelos de regressões aleatórias para características de peso, ganho de peso diário (GPD) e ganho de peso total (GPT) das tilápias do Nilo tailandesa aos 185, 220 e 255 dias de idade, admitindo homogeneidade (1 Classe) e heterogeneidade (2 a 4 Classes) de variância residual e a trajetória média fixa linear e quadrática

Características	Trajectoria Media Fixa	Variância Residual	Número de Observações	Número de Parâmetros	Log L	BIC	PM
GPD 185d	Linear	1 Classe (Homo)	660	7	8,46	2,82	-
		2 Classes	660	8	8,48	5,60	4,02
		3 Classes	660	9	8,87	7,63	11,10
		4 Classes	660	10	9,04	10,11	38,33
	Quadrático	1 Classe (Homo)	660	7	6,88	5,98	4,86
		2 Classes	660	8	6,90	8,75	19,43
		3 Classes	660	9	7,14	11,09	62,59
		4 Classes	660	10	7,32	13,56	215,15
Peso185d	Linear	1 Classe (Homo)	660	7	-2617,96	5255,65	1,48
		2 Classes	660	8	-2617,14	5256,83	2,67
		3 Classes	660	9	-2617,08	5259,53	10,27
		4 Classes	660	10	-2617,04	5262,28	40,66
	Quadrático	1 Classe (Homo)	660	7	-2617,57	5254,87	-
		2 Classes	660	8	-2616,75	5256,05	1,80
		3 Classes	660	9	-2616,69	5258,76	6,99
		4 Classes	660	10	-2616,66	5261,52	27,75
GPT 185d	Linear	1 Classe (Homo)	660	7	-2368,21	4756,15	6,20
		2 Classes	660	8	-2368,21	4758,97	25,35
		3 Classes	660	9	-2367,57	4760,52	55,07
		4 Classes	660	10	-2367,35	4762,90	180,79
	Quadrático	1 Classe (Homo)	660	7	-2366,38	4752,50	-
		2 Classes	660	8	-2366,38	4755,32	4,10
		3 Classes	660	9	-2365,93	4757,24	10,70
		4 Classes	660	10	-2365,71	4759,61	34,96
GPD 220d	Linear	1 Classe (Homo)	643	7	335,22	-650,790	-

Peso 220d		2 Classes	643	8	335	-647,990	4,05
		3 Classes	643	9	335,48	-645,690	12,77
		4 Classes	643	10	336,12	-644,160	27,45
		1 Classe (Homo)	643	7	333,23	-646,800	7,35
	Quadrático	2 Classes	643	8	333,24	-644,010	29,7
		3 Classes	643	9	333,67	-642,070	78,35
		4 Classes	643	10	334,1	-640,120	207,12
	Linear	1 Classe (Homo)	643	7	-2789,45	5598,550	2,11
		2 Classes	643	8	-2788,99	5600,450	5,45
		3 Classes	643	9	-2787,9	5601,070	7,42
		4 Classes	643	10	-2787,3	5602,690	16,68
	Quadrático	1 Classe (Homo)	643	7	-2788,7	5597,060	-
		2 Classes	643	8	-2788,26	5598,980	2,62
		3 Classes	643	9	-2787,25	5599,770	3,87
4 Classes		643	10	-2786,64	5601,370	8,62	
GPT 220d	Linear	1 Classe (Homo)	640	7	-2411,11	4841,870	2,54
		2 Classes	640	8	-2411,11	4844,670	10,32
		3 Classes	640	9	-2411,01	4847,280	37,95
		4 Classes	640	10	-2410,98	4850,030	149,95
	Quadrático	1 Classe (Homo)	640	7	-2410,18	4840,010	-
		2 Classes	640	8	-2410,18	4842,810	4,07
		3 Classes	640	9	-2410,14	4845,530	15,87
		4 Classes	640	10	-2410,13	4848,320	63,9
GPD 255d	Linear	1 Classe (Homo)	625	7	480,54	-941,51	26,42
		2 Classes	625	8	483,22	-944,07	7,35
		3 Classes	625	9	484,99	-944,82	5,05
		4 Classes	625	10	485,04	-942,12	19,41
	Quadrático	1 Classe (Homo)	625	7	482,21	-944,85	4,97
		2 Classes	625	8	484,54	-946,71	1,96
		3 Classes	625	9	486,61	-948,06	-
		4 Classes	625	10	486,75	-945,55	3,51
Peso 255d	Linear	1 Classe (Homo)	625	7	-2877,98	5775,54	8,24
		2 Classes	625	8	-2876,69	5775,74	9,14
		3 Classes	625	9	-2875,59	5776,34	12,35
		4 Classes	625	10	-2875,59	5779,13	49,74
	Quadrático	1 Classe (Homo)	625	7	-2875,87	5771,32	-
		2 Classes	625	8	-2874,51	5771,39	1,03
		3 Classes	625	9	-2873,23	5771,63	1,17
		4 Classes	625	10	-2873,23	5774,42	4,72
GPT 255d	Linear	1 Classe (Homo)	615	7	-2291,91	4603,35	196,37
		2 Classes	615	8	-2291,87	4606,04	755,54
		3 Classes	615	9	-2291,86	4608,82	3037,76
		4 Classes	615	10	-2290,68	4609,25	3753,01

Quadrático	1 Classe (Homo)	615	7	-2286,63	4592,79	-
	2 Classes	615	8	-2286,55	4595,41	3,72
	3 Classes	615	9	-2286,52	4598,14	14,54
	4 Classes	615	10	-2285,10	4598,08	14,13

* Log L: Logaritmo decimal da função de máxima verossimilhança; BIC: critério de informação Bayesiano; PM: Probabilidade do modelo, calculada a partir do menor valor BIC.

Foram utilizados para a avaliação da interação genótipo x ambiente e para a obtenção das estimativas dos componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos das características de desempenho das tilápias tailandesas, considerando os diferentes níveis de lisina digestível das dietas, os modelos que melhor se ajustaram a cada característica.

Os modelos que consideraram trajetória média fixa quadrática obtiveram melhores ajustes para a maioria das características analisadas, com exceção da característica GPD aos 185 e aos 255 dias de idade, que apresentaram melhores ajustes para o modelo com trajetória média fixa linear. A utilização de modelos que apresentam melhor ajuste é necessária para obtenção de estimativas de parâmetros genéticos mais acuradas.

Para quase todas as características, observou-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o que admitia variância residual homogênea, exceto para GPD 255d, em que o modelo que melhor se ajustou apresentou variância residual heterogênea.

Alguns autores utilizaram modelos com variância homogênea para análise dos dados (ROJAS e ROCHA, 2008; BOSCOLO et al., 2010; MESQUITA et al., 2016). Turra et al. (2012a, 2012b) utilizaram modelos de regressão aleatória ao trabalharem com avaliação genética do crescimento de tilápias e verificaram que modelos que consideravam heterogeneidade de variância residual apresentaram melhores ajustes que os que consideraram variância residual homogênea. Conti et al. (2014) consideraram variância residual homogênea e heterogenia para diferentes características em tilápias do Nilo. Essa variação pode ser atribuída a diversos fatores que não são facilmente incorporados nos modelos de análise devido à falta de escrituração sobre os mesmos (CAVALCANTE-NETO et al., 2011).

As variâncias estimadas, para os efeitos aleatórios estudados, foram maiores para constante de regressão do intercepto (b_0) do que a estimada para o coeficiente de regressão linear (b_1) (TAB. 6). Este resultado pode indicar que a amplitude ambiental influencia com maior intensidade o intercepto do que o coeficiente linear.

Tabela 6 - Componentes de covariância atribuídos aos coeficientes de regressão aleatórios do intercepto (b_0) e linear (b_1) e correlações estimadas para do efeito genético aditivo direto e efeito de família em função do nível de lisina dietético, bem como variâncias residuais para as características de desempenho de tilápias tailandesas aos 185, 220 e 255 dias de idade

Caraterística	Efeito Genético Aditivo			
	$\sigma_{b_0}^2$	σ_{b_0,b_1}	$\sigma_{b_1}^2$	r_{b_0,b_1}
Peso 185d	1472,8	-40,899	17,068	-0,26
GPT 185d	392,60	-18,820	14,328	-0,25
GPD 185d	0,2713	-0,0171	0,0147	-0,27
Peso 220d	2196,7	-44,765	2,0764	-0,66
GPT 220d	187,58	0,6017	10,998	0,01
GPD 220d	0,0180	-0,0017	0,0050	-0,18
Peso 255d	3034,6	149,56	9,2961	0,89
GPT 255d	35,893	17,411	9,0808	0,96
GPD 255d	0,9427	0,0004	0,0002	0,88

Caraterística	Efeito Família			
	$\sigma_{b_0}^2$	σ_{b_0,b_1}	$\sigma_{b_1}^2$	r_{b_0,b_1}
Peso 185d	75,946	9,2906	1,2079	0,970
GPT 185d	3,1111	-0,4190	0,1221	-0,680
GPD 185d	0,0007	-0,0001	0,0001	-0,382
Peso 220d	1,1270	-0,0295	0,0708	-0,104
GPT 220d	103,46	-3,7758	0,2736	-0,710
GPD 220d	0,0143	0,0007	0,0001	0,752
Peso 255d	51,376	3,5192	0,3469	0,834
GPT 255d	89,136	23,715	6,3366	0,998
GPD 255d	0,0082	0,0021	0,0006	0,998

*Componentes de variância ($\sigma_{b_0}^2$ e $\sigma_{b_1}^2$), covariância (σ_{b_0,b_1}) e correlação (r_{b_0,b_1}) atribuídos aos coeficientes b_0 e b_1 do efeito genético aditivo direto e de família.

É importante salientar que, em qualquer situação, a resposta à mudança no valor genético em função do nível de lisina dietética seria sempre uma função da magnitude do b_1 , pois é este coeficiente que representa a inclinação da reta da norma de reação e que pode representar diferentes sensibilidades às condições ambientais (MIRANDA et al., 2016).

Quando b_0 apresenta variância genética alta, a exemplo das características de peso e GPT em todas as idades, pode significar que para essas características há grande variabilidade genética no nível intermediário (TURRA et al., 2012a; CONTI et al., 2014), nesse caso 1, 48% de lisina digestível.

A correlação entre o intercepto e a inclinação da equação da norma de reação está relacionada com as mudanças no valor genético em relação a mudança ambiental (TURRA et al., 2012a; MOTA et al., 2015), ou seja, em razão das correlações entre os coeficientes da

regressão aleatória, as tilápias podem apresentar diferentes valores genéticos ao longo dos níveis de lisina digestível da dieta. As correlações entre os coeficientes de regressão aleatória do b_0 e b_1 em relação ao efeito genético aditivo direto tiveram menores magnitudes quando comparadas ao efeito de família.

De forma geral, as correlações entre b_0 e b_1 em relação ao efeito genético aditivo direto foram de média a baixas magnitudes e negativas, o que pode indicar que os maiores valores genéticos dessas características, a partir do intercepto, estão associados aos menores valores do coeficiente de regressão linear (MIRANDA et al., 2016) e que os valores genéticos respondem de forma negativa ao aumento do nível de lisina da dieta (VELOSO et al., 2015).

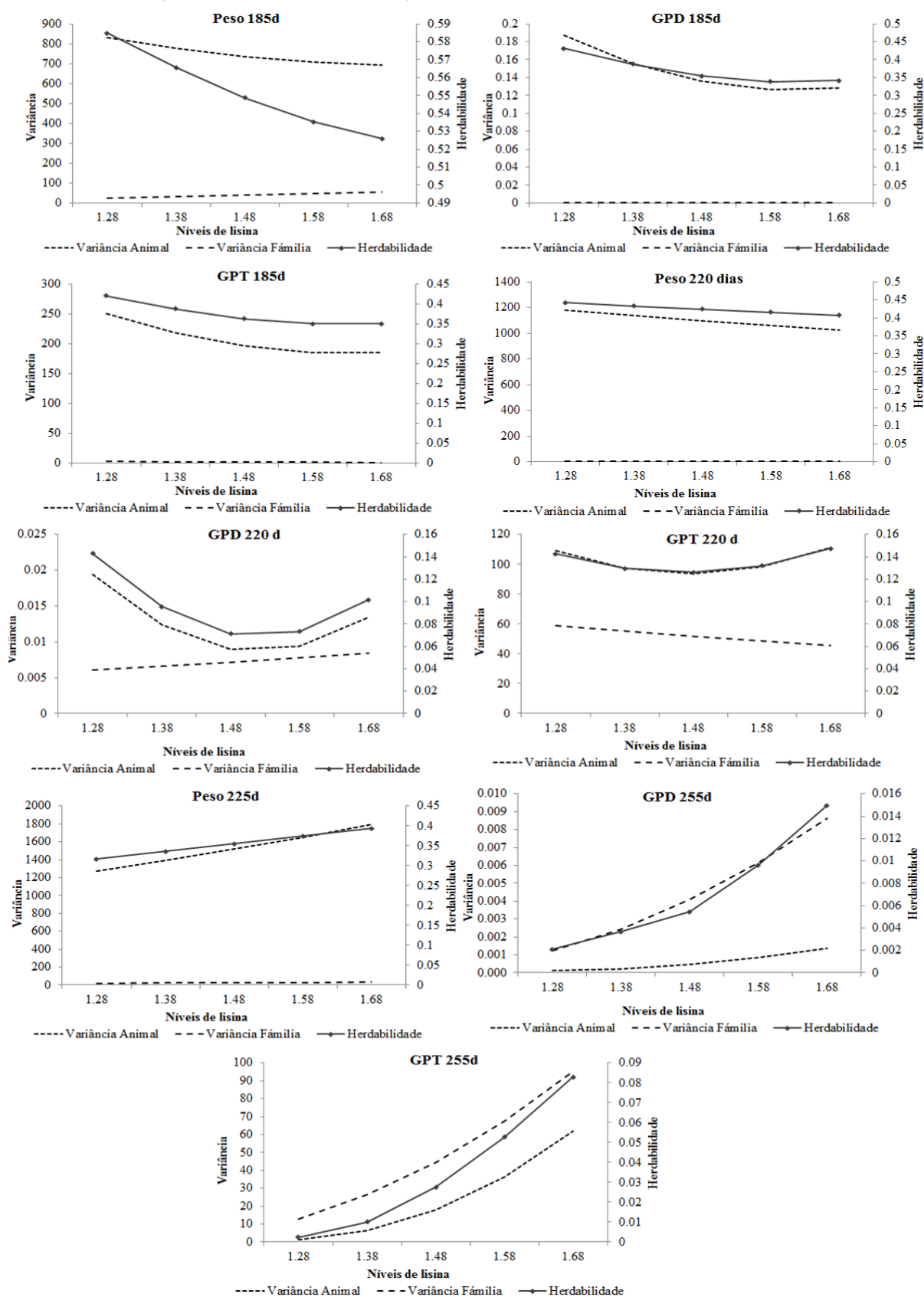
De acordo com Su et al. (2006), valores de correlações baixas ou distante da unidade positiva entre os coeficientes, proporcionam modificações na ordem de classificação dos valores genéticos da característica nos diferentes níveis de lisina digestível da dieta, o que pode traduzir a interação genótipo x ambiente. Entretanto, um valor de correlação próximo de zero, como a associação muito fraca (0,01) observada para GPT 220d, pode indicar que o valor genético do animal não tem alteração com a melhoria do ambiente (MOTA et al., 2015).

Por outro lado, observaram-se correlações altas e positivas para todas as características avaliadas aos 255 dias de idade. Resultados estes que evidenciam que peixes com maior valor genético médio, ao longo do gradiente ambiental, tendem a mostrar aumento do valor genético em ambientes favoráveis. Altas correlações, no entanto, significativamente diferentes de 1,0, indicam que a ordem de classificação dos valores genéticos preditos pouco se altera em diferentes níveis de lisina da dieta, mas que podem ocorrer alterações nos valores genéticos para a característica (VELOSO et al., 2015).

Assim como neste trabalho, Turra et al. (2012a), ao estudarem a trajetória genética do crescimento de tilápias, encontraram correlações positivas entre o intercepto e o coeficiente de regressão aleatória linear. As correlações positivas indicam que quanto maior o valor de intercepto, maior é a inclinação que retrata a sensibilidade das tilápias a uma mudança de ambiente (VELOSO et al., 2015; MIRANDA et al., 2016), ou seja, peixes mais pesados aos 255 dias de idade respondem positivamente ao aumento no nível de lisina digestível das dietas.

Observam-se alterações nas estimativas de herdabilidade (h^2) nas características em função da mudança do nível dietético de lisina digestível (FIG. 2) em razão das diferentes contribuições da variação genética em relação à variação fenotípica das características.

Figura 2 - Estimativas de herdabilidade e variância genética aditiva e do efeito de família das características de pesos corporais de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa, aos 185, 220 e 255 dias de idade, de acordo com o nível de lisina a dieta



Esse comportamento demonstra diferenças dos parâmetros genéticos da população de tilápias nos diferentes ambientes nutricionais, o que pode caracterizar a presença de interação genótipo x ambiente (IGA).

Os valores de herdabilidade estimados para peso, GPT e GPD, aos 185 dias de idade, variaram de moderada a alta magnitude, com valores oscilando de 0,54 a 0,58, de 0,34 a 0,41 e de 0,33 a 0,43, respectivamente.

Altas estimativas de h^2 indicam que a maior parte da variação fenotípica na população estudada está relacionada aos efeitos genéticos aditivos, uma vez que a variância residual foi considerada homogênea, isto permite obter considerável ganho genético por meio da seleção (MOTA et al., 2015). Contudo, a seleção se torna mais eficaz quando praticada em níveis mais baixos do gradiente nutricional, pois as estimativas de h^2 aos 185 dias apresentaram comportamento decrescente ao longo do período experimental, o que pode indicar redução da participação relativa das diferenças genéticas aditivas na variação fenotípica.

As características de peso, GPT e GPD para as idades de 220 e 255 dias apresentaram valores de herdabilidade que variaram de alta a baixa magnitude, com valores oscilando entre 0,31 e 0,44 para peso, de 0,002 a 0,14 para GPT e de 0,002 a 0,14 para GPD, sendo os valores mais baixos para as características das tilápias avaliadas aos 255 dias de idade. As características peso 255d, GPT 255d e GPD 255d com o aumento do nível do gradiente ambiental apresentaram valores de herdabilidade mais altos, o que indica que a seleção seria mais eficiente se fosse praticada nos maiores níveis de lisina digestível nas dietas, ou seja 1,68%. Para as características aos 220 dias de idade, as estimativas de h^2 apresentaram maiores valores para os peixes alimentados com dietas contendo os níveis de lisina digestível de 1,28% para peso e GPD e 1,68% para GPT, o que sugere que a seleção seria mais eficaz se praticada nesses níveis do gradiente nutricional para essas características.

As variâncias genéticas apresentaram comportamento diferente entre as características. A variância atribuída ao efeito de família foi, de maneira geral, menor do que a atribuída ao efeito genético aditivo direto para as características ao longo dos níveis de lisina digestível, com exceção de GPD e GPT aos 255 dias de idade (FIG. 2) em que a variância atribuída ao efeito genético aditivo foi menor. As diferenças de desempenho dos peixes dentro e entre famílias é atribuída a múltiplos fatores (JANHUNEN et al., 2012), e segundo Eknath et al. (2007), o fato das famílias de irmãos completos geralmente permanecem separadas até a marcação pode ocasionar um efeito não genético sistemático, desse modo o efeito de família deve ser incluído no modelo mesmo apresentando valores baixos.

Observa-se que, ao longo do gradiente nutricional, ou nível de lisina digestível da dieta, a participação do efeito de família na variação fenotípica foi menor que 10% para as características, exceto para GPT 255d, que a participação do efeito de família foi de 12%. Resultado encontrado por Rutten et al. (2005), Nguyen et al. (2010) e Yoshida et al. (2013a, 2013b) foram próximos aos valores encontraram (<10%) para a proporção da variância de família para peso e características morfométricas em tilápias.

Observou-se que para as características peso aos 185 dias e GPD aos 220 dias de idade, a variância do efeito de família aumentou com o aumento do nível do gradiente ambiental e para GPT185d, GPD 185d e GPT 220d reduziu a medida que o nível de lisina digestível na dieta aumentou. Para peso aos 220 dias de idade a variância de família apresentou comportamento diferente, reduzindo até o nível de 1,48% de lisina digestível e aumentando a partir daí, sendo que a maior participação do efeito de família para essa característica foi no nível de 1,28% de lisina digestível nas dietas.

A variância genética aditiva das tilápias tailandesas para todas as características aos 185 dias de idade e para peso 220d reduziram à medida que o nível de lisina dietética aumentou, à semelhança do que ocorreu com as estimativas de herdabilidade. Para as características de GPD e GPT aos 220 dias de idade, a variância genética aditiva apresentou redução até o nível de 1,48 de lisina digestível dietética e aumentou a partir daí.

As características obtidas aos 255 dias de idade das tilápias apresentaram aumento da variância genética aditiva e de família ao longo do gradiente ambiental, o que indica que haverá maior resposta à seleção em condições ambientais melhoradas em função da maior expressão do potencial genético dos peixes (MOTA et al., 2015).

3.2 Estudo da interação genótipo x ambiente por meio de correlações

O grau da IGA pode ser avaliado a partir da correlação genética entre as expressões de características em dois ou mais ambientes (FALCONER e MAKAY, 1996). As correlações genéticas estimadas para todas as características foram positivas, o que indica que os maiores valores genéticos respondem positivamente ao aumento do nível de lisina dietético na dieta (MIRANDA et al., 2016) (FIG. 3 e 4).

Figura 3 – Correlações genéticas para as características de desempenho de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa aos 185 e 220 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina dietética

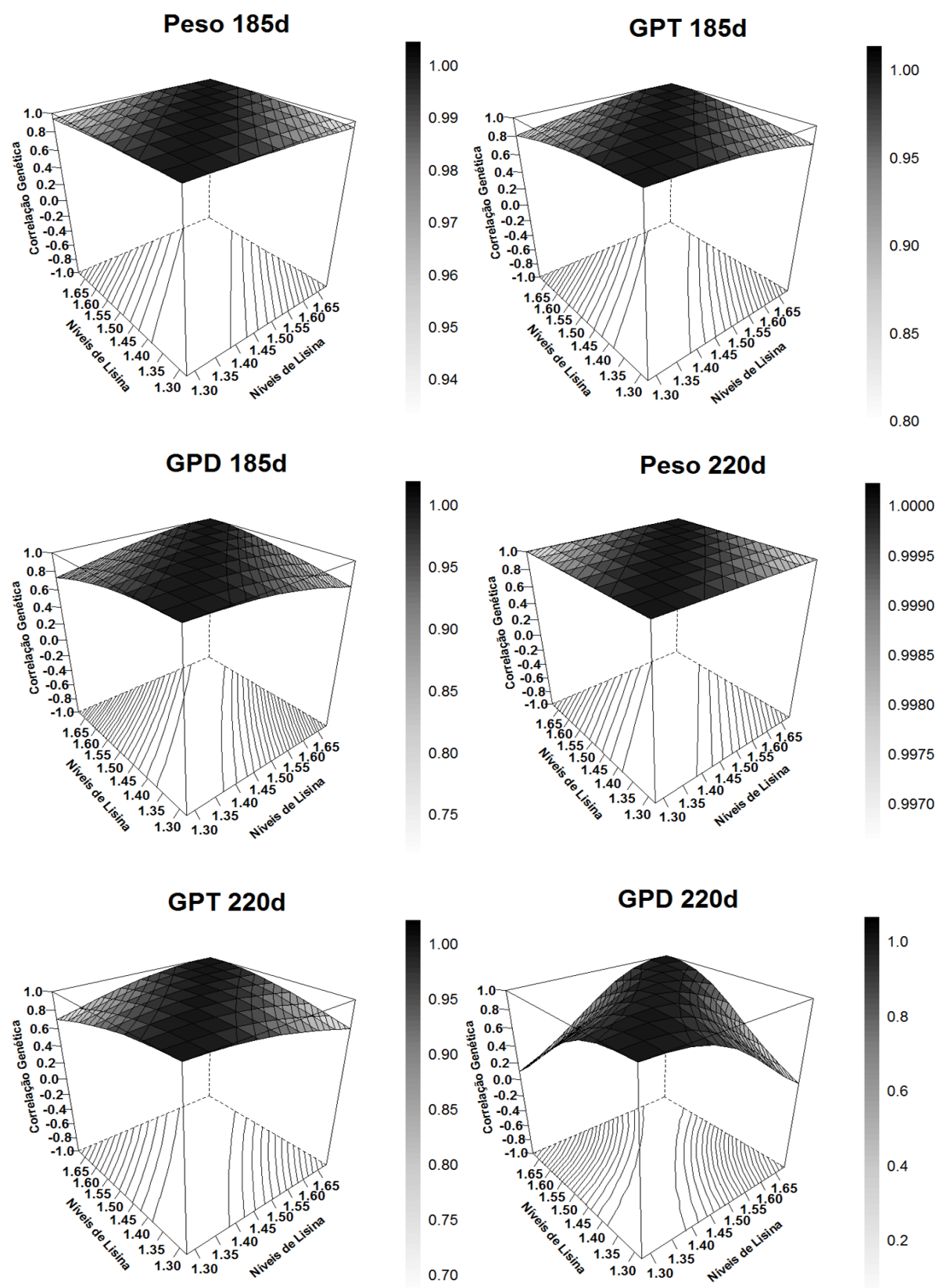
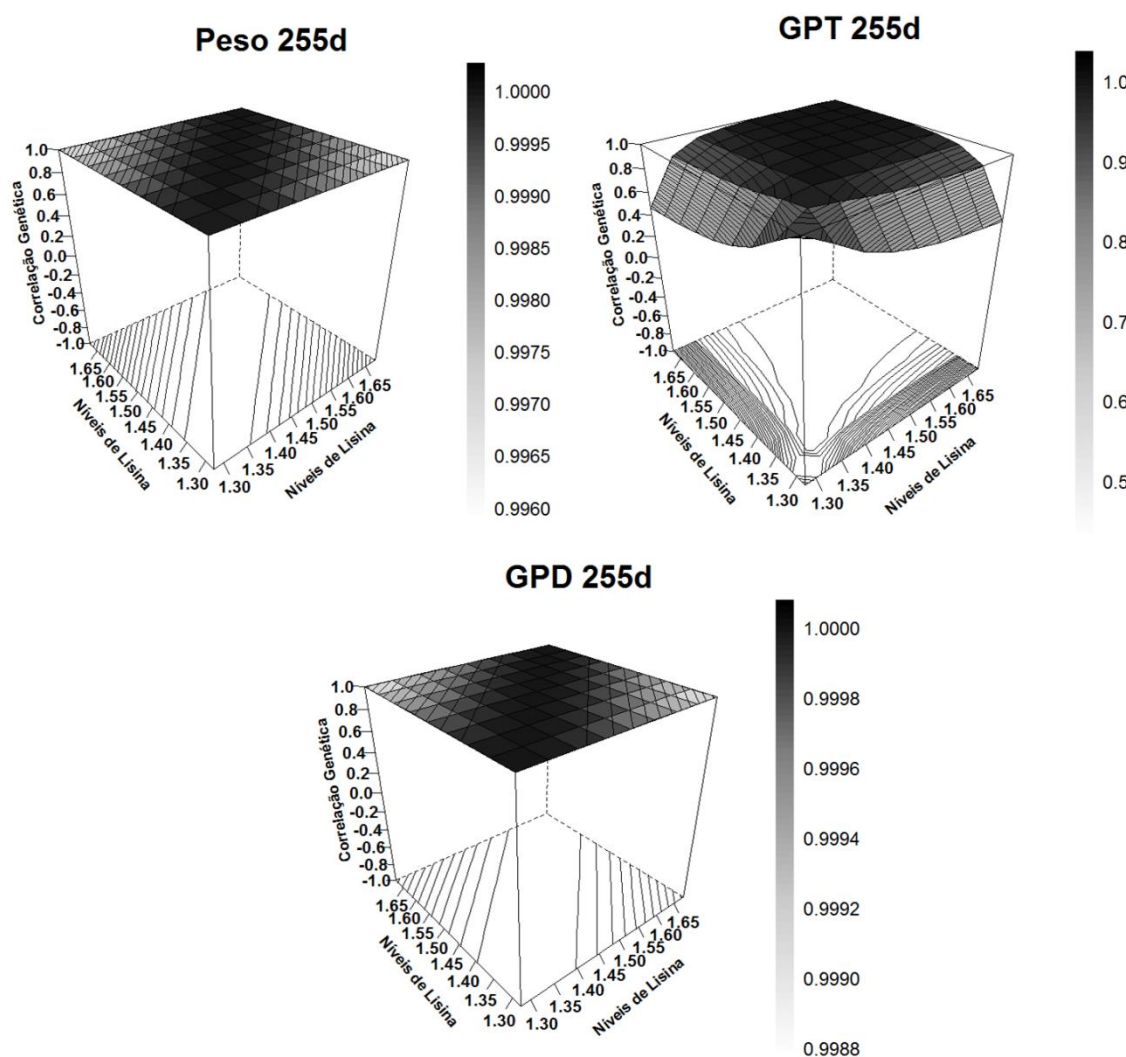


Figura 4 – Correlações genéticas para as características de desempenho de tilápias do Nilo da linhagem tailandesa aos 255 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina da dieta



Para peso 185d, GPT 185d, peso 220d, Peso 255d e GPD 255d, as correlações entre os valores genéticos preditos em diferentes níveis nutricionais de lisina digestível foram elevadas. Correlações genéticas acima de 0,80 indicam interação menos importante entre o genótipo e o gradiente nutricional, ou seja, os genes responsáveis pela expressão de uma característica em um nível dietético de lisina digestível serão considerados os mesmos em outro (ROBERTSON, 1959).

Por outro lado, as correlações estimadas para as demais características das tilápias avaliadas apresentaram valores abaixo de 0,80, nestes casos é possível que ocorram interação genótipo x ambiente dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental (FARIA et al., 2017). Nestas características, quanto maior a distância relativa da correlação estimada da

unidade, menos intensa será a associação entre as características nos ambientes avaliados e, consequentemente, poderá ocorrer alteração na classificação dos valores genéticos no gradiente nutricional (MIRANDA et al., 2016).

Observou-se, portanto, que os valores genéticos variaram com os diferentes níveis dietéticos, sugerindo, de maneira geral, a existência da interação genótipo ambiente para características de desempenho das tilápias, o que pode acarretar na seleção de diferentes animais nos diferentes ambientes (MIRANDA et al., 2016).

Por outro lado, para as características onde se observam herdabilidades com valores de alta magnitude e a correlação genética estimada maior que 0,80 nos diferentes níveis de lisina digestível na dieta, a exemplo do Peso 185d, GPT 185d, Peso 220 e Peso 255d, pode-se inferir que a IGA é baixa ou de inexpressiva relevância (ROBERTSON, 1959; MIRANDA et al., 2016), logo, os genótipos apresentariam o mesmo desempenho nos diferentes gradientes ambientais estudados, podendo selecionar as tilápias em qualquer nível de lisina digestível.

As correlações de Spearman entre as classificações (rank) das tilápias com base nos valores genéticos preditos nos níveis de lisina digestível baixo, médio e alto, considerando as intensidades de seleção de 6, 12 e 18% são apresentadas na Tabela 7.

Foram observadas similaridades de 100% dos peixes selecionados para as características: peso 185d na seleção de 6% dos melhores animais entre os níveis médio e alto (M X A); peso 220d em todos os percentuais selecionados e entre os níveis médio e alto, médio e baixo (M x B) e alto e baixo (A x B); GPD 255 e GPT 255d na seleção de 6 e 18% e de 12 e 18% dos melhores peixes, respectivamente, entre os níveis alto e médio; e peso 255d em todos os percentuais de seleção e níveis avaliados (TAB. 7).

Tabela 7 - Correlações de Spearman e porcentagens dos animais correlacionados entre os níveis baixo (B), médio (M) e alto (A) de lisina digestível nas dietas para os 6, 12 e 18 % dos maiores valores genéticos para as características das tilápias tailandesas aos 185, 220 e 255 dias de idade

Característica	Nível	M x A	Animais (%)	A x B	Animais (%)	B x M	Animais (%)
Peso 185d	18%	0,99	95,0	0,96	90,8	0,98	95,8
	12%	0,99	98,7	0,97	93,7	0,99	94,9
	6%	0,99	100,0	0,98	92,5	0,99	92,5
GPT 185d	18%	0,96	92,4	0,89	81,5	0,94	89,1
	12%	0,99	94,9	0,96	83,5	0,97	88,6
	6%	0,99	97,5	0,98	95,0	0,99	97,5
GPD 185d	18%	0,97	92,4	0,89	78,2	0,93	85,7
	12%	0,98	96,2	0,92	84,8	0,96	88,6
	6%	0,95	95,0	0,93	92,5	0,99	95,0
Peso 220d	18%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	1	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	100,0	1	100,0
GPT 220d	18%	0,9	90,4	0,87	83,5	0,96	91,3
	12%	0,92	92,2	0,83	88,3	0,94	96,1
	6%	0,92	92,1	0,82	84,2	0,92	92,1
GPD 220d	18%	0,43	57,8	0,23	41,4	0,62	82,8
	12%	0,3	48,1	0,2	24,7	0,59	74,0
	6%	0,43	35,9	0,2	10,3	0,66	61,5
Peso 255d	18%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	1	100,0	1	100,0	1	100,0
GPT 255d	18%	0,99	100,0	0,85	78,4	0,87	78,4
	12%	0,99	100,0	0,92	75,7	0,93	75,7
	6%	0,99	97,3	0,94	81,1	0,83	83,8
GPD 255d	18%	0,99	100,0	0,91	90,3	0,95	90,3
	12%	0,99	100,0	0,95	93,3	0,97	94,7
	6%	0,99	100,0	0,99	86,8	0,99	86,8

*Níveis de lisina digestível nas dietas (%): B- 1,28; M- 1,48; A- 1,68.

Para a característica peso 220d na seleção de 6 e 12% dos maiores valores genéticos foram observadas correlação de Spearman, entre o nível baixo e médio, igual a +1. O mesmo comportamento foi observado para peso 255d em que a correlação entre os níveis foi igual a unidade positiva para a seleção de 6% dos peixes com maiores valores genéticos.

Valores de correlação igual a 1 indicam associação muito forte entre os ambientes, ou seja, os valores genéticos desses peixes apresentaram a mesma ordem de classificação ao longo dos gradientes nutricionais e, neste caso, as mesmas tilápias selecionadas em um nível de lisina digestível na dieta seria também selecionada em outro nível.

De maneira geral, as correlações de posto apresentam magnitudes altas e positiva, o que sugere que a variação na classificação dos valores genéticos predito dos peixes apresentam pequena alteração.

Os valores da correlação de posto para quase todas as características foram maiores que 0,80, com exceção de GPD 220d que apresentou valores menores para as três intensidades de seleção (6, 12 e 18%) consideradas entre os níveis baixo, médio e alto de lisina digestível na dieta.

Valores baixos das correlações de Spearman nas intensidades de seleção avaliadas entre os diferentes níveis nutricionais de lisina enfatiza que a ação do ambiente influiria na ordem relativa de classificação das tilápias nos ambientes estudados e, consequentemente, indicam que existe IGA para essa característica. Apesar das correlações serem altas em sua maioria, com menor importância para a característica (CREWS JR. e FRANKE, 1998), o número de tilápias correlacionadas entre os gradientes ambientais variaram dentro dos percentuais de seleção avaliados, sendo os peixes selecionados em comum entre os níveis de lisina menor que 100% para a maioria das características, o que demonstra que os animais selecionados entre os níveis de lisina digestível não são mesmos entre os percentuais de seleção avaliados. Portanto, com exceção dos pesos aos 220 e 255 dias de idade, os resultados podem indicar que ocorreram divergências na escolha dos melhores peixes, o que pode caracterizar a presença da interação genótipo x ambiente.

Observa-se que os valores de correlação de Spearman foram mais baixos para GPD e GPT 220d entre os níveis alto e baixo de Lisina digestível, o que pode indicar que os peixes selecionados em ambos os níveis não manteriam a mesma classificação ou ranking. Os peixes selecionados em comum nas diferentes pressões de seleção avaliadas para GPD foram baixos entre os níveis, sendo 36 a 58% dos peixes selecionados entre o nível M x A e 10 a 41% entre os níveis A x B, o que indica que a similaridade entre os maiores valores genéticos entre os níveis dietéticos de lisina digestível é menor.

Esses resultados podem indicar que a seleção dos animais deverá ser realizada no mesmo nível em que serão cultivados, em razão da alteração no ranking dos valores genéticos dos peixes quando se utilizam informações de ganho de peso diário.

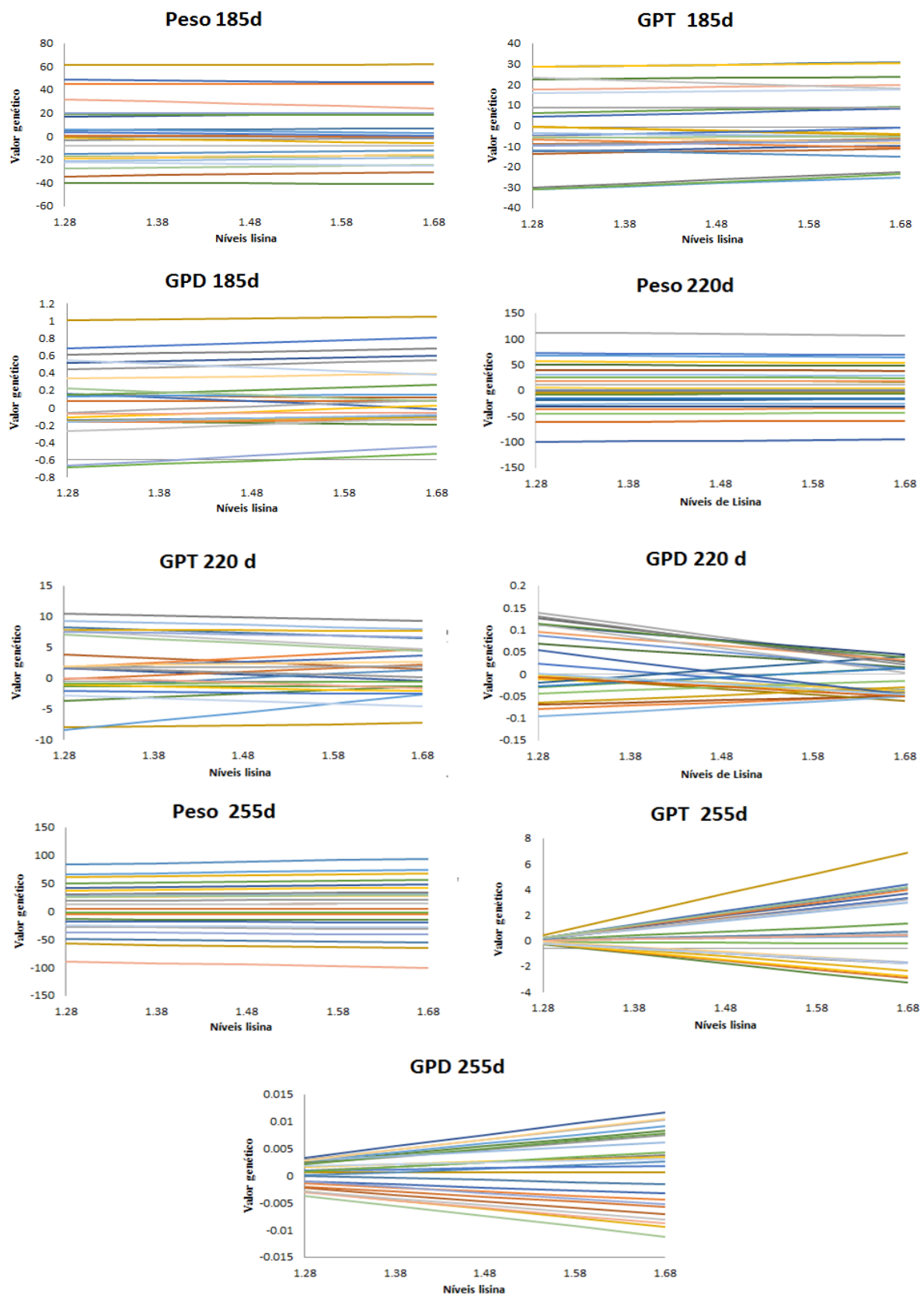
3.3 Norma de reação

As normas de reação de 25 tilápias tailandesas, amostradas aleatoriamente também indicaram alteração na sensibilidade dos valores genéticos de algumas características as mudanças no nível nutricional de lisina digestível das dietas (FIG. 5), o que é consistente com a magnitude das correlações.

A existência da IGA pode representar um problema para melhoramento genético, uma vez que as tilápias mais produtivas, selecionadas para um nível dietético específico de lisina digestível, podem não expressar todo o potencial genético quando alimentadas com dietas contendo outros níveis (MOTA et al., 2015).

Na norma de reação as retas se cruzam, em maioria, nos níveis baixos e médios, contudo, ocorrem ao longo de todo gradiente ambiental, com os valores genéticos preditos diferenciando se nos ambientes mais favoráveis. Para GPD aos 185 dias e GPT e GPD aos 220 dias de idade, esta diferença foi mais intensa (FIG. 5), com reordenamento dos valores genéticos de acordo com o gradiente ambiental, sugerindo maior grau de interação genótipo x ambiente (IGA). Este resultado corrobora com as correlações genéticas relatadas anteriormente para esta característica.

Figura 5 - Normas de reação de valores genéticos das características de desempenho de 25 tilápias tailandesas, amostradas aleatoriamente da população avaliada quanto em função dos diferentes níveis de lisina digestível das dietas



Podem-se observar pelas normas de reação dos valores genéticos das 25 tilápias tailandesas que as variâncias alteraram com a mudança do gradiente ambiental. Para as características medidas aos 185 e 220 dias de idade, a dispersão dos valores genéticos diminuiu. No entanto, a característica peso 220d apresentou baixa alteração na dispersão dos valores genéticos, que se mantiveram praticamente constantes com mudança no gradiente ambiental. Este fato acrescido às altas correlações, genética e de Spearman, observadas anteriormente para essa característica indica a ausência de interação genótipo x níveis de lisina digestível na dieta.

As características medidas aos 255 dias de idade apresentaram aumento na dispersão dos valores genéticos à medida que o nível de lisina digestível aumentou na dieta, sendo este aumento mais evidente nos gráficos da norma de reação para GPD e GPT.

Observou-se que as tilápias apresentaram um padrão de resposta diferente das características ao longo do gradiente nutricional. Desta forma, observa-se IGA, seja pelo reordenamento ou aumento da dispersão dos valores genéticos para as características avaliadas. Assim, principalmente onde a interação genótipo x ambiente é de importância biológica, deve-se considerar que os maiores valores genético predito para um gradiente ambiental não será para outros gradientes, o que poderá comprometer o processo de seleção dessas características.

Portanto, as avaliações genéticas realizadas para tilápias alimentadas com dietas contendo diferentes níveis dietéticos de lisina digestível podem resultar em mudança na classificação dos valores genéticos quando o ambiente for alterado de uma condição menos favorável para uma mais favorável. Essas mudanças nos valores genéticos preditos em diferentes níveis de produção podem refletir primeiramente em diferenças nas necessidades nutricionais e, em segundo lugar, apoiar a escolha do gradiente ambiental no qual as tilápias expressariam todo seu potencial genético (MOTA et al., 2015).

4 CONCLUSÃO

Modelos de regressão aleatória, por meio de norma de reação, que consideraram a homogeneidade da variância residual apresentaram melhor ajuste para a avaliação da interação genótipo ambiente nas características de desempenho aos 185, 220 e 255 dias de idade de tilápias do Nilo, alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível.

A interação IGA para as características avaliadas ocorreu com diferentes padrões e intensidades, o que pode ser explicado pelas diferenças na composição genética dos peixes.

Portanto, se as possíveis mudanças em níveis nutricionais dos vários genótipos das tilápias não forem consideradas, pode-se levar à tomada de decisões equivocadas e não se obter a máxima de resposta à seleção.

Assim, deve-se investigar mais detalhadamente a IGA com vistas nos benefícios da seleção especializada para o gradiente ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A. A.; COLDEBELLA, A.; BUENO, G. W.; FEIDEN, A. Rações orgânicas suplementadas com farinha de resíduos de peixe para juvenis da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 686-692, 2010.
- BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; SOARES, C.M.; FURUYA, W.M.; MEURER, F. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens Tailandesa e Comum, nas fases inicial e de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.5, p.1391-1396, 2001.
- BURNHAM K. P.; ANDERSON D. R. Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological methods & research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.
- CAVALCANTE-NETO, A.; THOLON, P.; LUI, J. F.; LARA, M. A. C.; FONSECA, C.; RIBEIRO, M. N.; SARMENTO, J. L. R. Modelos de regressão aleatória com diferentes estruturas de variância residual para descrever o tamanho da leitegada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 1043-1050, 2011.
- CONTI, A. C. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; MARTINS, E. N.; RIBEIRO, R. P.; BIGNARDI, A. B.; PORTO, E. P.; OLIVEIRA, S. N. Estimação de parâmetros genéticos para peso corporal, ganho em peso e características morfométricas de tilápias do Nilo utilizando modelos de regressão aleatória. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2843-2858, 2014.
- CREWS JR., D.H.; FRANKE, D.E. Heterogeneity of variances for carcass traits by percentage Brahman inheritance. **Journal of Animal Science**, v.76, p.1803-1809, 1998.
- EKNATH, A.E.; BENTSEN, H.B.; PONZONI, R.W.; RYE, M.; NGUYEN, N.H.; THODESEN, J.; GJERDE, B. Genetic improvement of farmed tilapias: composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. **Aquaculture**, v.273, p.1-14, 2007.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. London: Longman. 1996.
- FALCONER, D.S., The problem of environment and selection. **The American Naturalist**, v.86, p.293–298, 1952.
- FARIA, G.Q.; BONAFÉ, C.M.; SOUZA, K.A.R.; SILVA, M.A.; COSTA, L.S.; LIMA, H.J.D.; CAMPOS, F.G.; SILVA, R.B.; SILVA, A.A.; TAROCÔ, G.; ROCHA, G.M.F.; MIRANDA, J.A. Estimação de valores genéticos para codornas europeias em função dos níveis da relação treonina: lisina da dieta: do nascimento aos 21 dias de idade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 1, p. 214-224, 2017.
- FURUYA, W. M.; NEVES, P. R.; SILVA, L. C. R.; BOTARO, D.; HAYASHI, C.; SAKAGUTI, E. S. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante o período de reversão de sexo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 299-303, 2004.

JANHUNEN, M.; KAUSE, A.; VEHVILÄINEN, H.; JÄRVISALO, O. Genetics of microenvironmental sensitivity of body weight in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) selected for improved growth. **PloS ONE**, v. 7, n. 6, p. e38766, 2012.

LOPES, J. S.; RORATO, P. R. N.; WEBER, T.; BOLIGON, A. A.; COMIN, J. G.; DORNELLES, M. D. A. Efeito da interação genótipo \times ambiente sobre o peso ao nascimento, aos 205 e aos 550 dias de idade de bovinos da raça Nelore na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.54-60, 2008.

MESQUITA, R. C. T.; MASCHIO, D.; ELOY, L.; GODOY, L.; DA PAZ, É. M.; STREIT, D. P. Vantagens do cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com mínima liberação de efluentes. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n. 3, p. 447-454, 2016.

MEYER K. (2006) **Wombat: A Program for Mixed Model Analyses by Restricted Maximum Likelihood (REML)**. University of New England, Armidale, NSW, Australia.

MIRANDA, J. A.; PIRES, A. V.; ABREU, L. R. A.; MOTA, L. F. M.; SILVA, M. A.; BONAFÉ, C. M.; LIMA, H.J.D.; MARTINS, P. G. M. A. Sensitivity of breeding values for carcass traits of meat-type quail to changes in dietary (methionine+ cystine): lysine ratio using reaction norm models. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 133, n. 6, p. 463-475, 2016.

MOTA, L. F.; ABREU, L. R.; SILVA, M. A.; PIRES, A. V.; LIMA, H. J.; BONAFÉ, C. M.; COSTA, L. S.; SOUZA, K. A.R.; MARTINS, P. G. Genotype \times dietary (methionine+ cystine): Lysine ratio interaction for body weight of meat-type quails using reaction norm models. **Livestock Science**, v. 182, p. 137-144, 2015.

NEATH A. A.; CAVANAUGH, J. E. The Bayesian information criterion: background, derivation, and applications. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 4, n. 2, p. 199-203, 2012.

NGUYEN, N.H., PONZONI, R.W., ABU-BAKAR, K.R., HAMZAH, A., KHAW, H.L., YEE, H.Y. Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture** v.305, p. 1–5, 2010.

ROBERTSON, A. The sampling variance of genetic correlation coefficient. **Biometrical**, v.15, n.3, p.469-485, 1959.

ROJAS, N. E. T.; ROCHA, O. Influência da alcalinidade da água sobre o crescimento de larvas de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 Perciformes, Cichlidae). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 26, n. 2, p. 163-167, 2008.

RUTTEN, M. J. M.; KOMEN, H.; BOVENHUIS, H. Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. **Aquaculture**, v. 246, p. 101–113, 2005.

S.A.S. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. User's guide: Statistics. Version 9.0, NC; SAS Institute, 2002.

SCHWARZ G. Estimating the dimension of a models **The annals of statistics**, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.

SOUZA, M. L. R. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1076-1084, 2002.

SU, G.; MADSEN, P.; LUND, M. S.; SORENSEN, D.; KORSGAARD, I. R.; JENSEN, J. Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. **Journal of animal science**, v. 84, n. 7, p. 1651-1657, 2006.

TURRA, E. M.; OLIVEIRA, D. A. A.; VALENTE, B. D.; TEIXEIRA, E. A.; PRADO, S. A.; MELO, D. C.; FERNANDES, A. F. A.; ALVARENGA, E. R.; SILVA, M. A. Estimation of genetic parameters for body weights of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* using random regression models. **Aquaculture**. 354–355, 31–37, 2012a.

TURRA, E.M.; OLIVEIRA, D.A.A.; TEIXEIRA, S.A.; PRADO, S.A.; MELO, D.C.; SOUZA, A.B. Uso de medidas morfométricas no melhoramento genético do rendimento de filé da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Rev. Bras. Reprod. Anim.** v.34, n.1, p.29-36, 2010.

TURRA, E.M.; OLIVEIRA, D.A.A.; VALENTE, B.D.; TEIXEIRA, E.A.; PRADO, S.A.; ALVARENGA, E.R.; MELO, D.C.; FELIPE, V.P.S.; FERNANDES, A.F.A.; SILVA, M.A. Longitudinal genetic analyses of fillet traits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**. 356-357, 381–390, 2012b.

VELOSO, R. C.; ABREU, L. R. A.; MOTA, L. F. M.; CASTRO, M. R.; SILVA, M. A.; PIRES, A. V.; LIMA, H. J. D'A.; BOARI, C. A. Reaction norm models for the study of meat quality of European quail in function of (methionine+ cysteine): lysine diet ratio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 5, p. 1438-1448, 2015.

YOSHIDA, G. M.; OLIVEIRA, C. A. L. de; OLIVEIRA, S. N. de; KUNITA, N. M.; RESENDE, E. K. de; ALEXANDRE FILHO, L.; RIBEIRO, R. P. Associação entre características de desempenho de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.8, p.816-824, 2013b.

YOSHIDA, G. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; KUNITA, N. M.; OLIVEIRA, S. N.; ALEXANDRE FILHO, L.; RESENDE, E. K.; LOPERA-BARRERO, N. M.; RIBEIRO, R. P. Resposta à seleção de características de desempenho e morfométricas de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, p.1815-1822, 2013a.

